



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**STANOVENÍ HYDRAULICKÝCH CHARAKTERISTIK
PŮDY VE VYBRANÉM ZÁJMOVÉM ÚZEMÍ**

DETERMINATION OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF SOIL IN A SELECTED AREA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

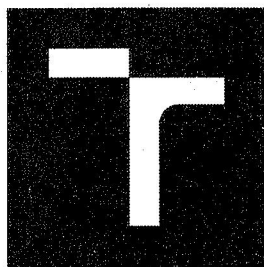
Bc. Jan Salač

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jan Salač
Název	Stanovení hydraulických charakteristik půdy ve vybraném zájmovém území
Vedoucí práce	Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017



prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Císlerová, M. (1989): Inženýrská hydropedologie, skriptum ČVUT, Praha.

Kodešová, R. (2005): Modelování v pedologii, skriptum ČZU, Praha. ISBN 80-213-1347-1.

Kutílek, M., Kuráž, V., Císlerová, M. (2004): Hydropedologie 10, skriptum ČVUT, Praha.

Kutílek, M. (1994): Soil hydrology. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, Germany.

Články v domácích i zahraničních odborných časopisech

Sborníky z konferencí

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bude zpracována problematika hydraulických charakteristik půdy, které se používají jako vstupy do matematických modelů simulujících proudění vody v půdě v zóně aerace. V praktické části bude stanovena hydraulická vodivost půdy ve vybraném zájmovém území pomocí přímých i nepřímých metod měření.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřená na problematiku měření a vyhodnocení hydraulických charakteristik půdy. V literární rešerši jsou rozebrány definice hydraulické vodivosti a retenční čáry půdní vlhkosti, jejich měření v laboratorních i polních podmínkách a předpověď těchto charakteristik pomocí pedotransferových funkcí.

V praktické části diplomové práce je provedeno vyhodnocení hydraulické vodivosti půdy z experimentálních ploch v blízkosti obce Bohaté Málkovice. K měření v terénu se použily dvouválcové a minidiskové infiltrometry, v laboratoři pak permeametr s konstantním spádem. K vyhodnocení hydraulické vodivosti se použily fyzikální a empirické rovnice. Výsledky byly zpracovány početně, vyneseny do tabulky a porovnány.

Klíčová slova

hydraulické charakteristiky půdy, nasycená hydraulická vodivost, nenasycená hydraulická vodivost, pedotransferové funkce, infiltrace, dvouválcový infiltrometr, minidiskový infiltrometr, Rosetta

Abstract

The diploma thesis is focused on issues of measurement and evaluation of hydraulic characteristics of soil. In the literary research, the definitions of hydraulic conductivity and retention curve of soil moisture, their measurements in laboratory and field conditions and the prediction of these characteristics by using of pedotransfer functions. In the practical part of the diploma thesis, an evaluation of the hydraulic conductivity of soil from the experimental areas near the village Bohaté Málkovice. Two-cylindrical and mini-disc infiltration meters were used for field measurements, and a constant-gradient permeameter was used in the laboratory. Physical and empirical equations were used to evaluate the hydraulic conductivity. The results were processed numerically, tabulated and then compared.

Keywords

hydraulic characteristics of soil, saturated hydraulic conductivity, unsaturated hydraulic conductivity, pedotransfer functions, infiltration, double ring infiltrometer, minidisc infiltrometer, Rosetta

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Salač *Stanovení hydraulických charakteristik půdy ve vybraném zájmovém území.*

Brno, 2017. 60s., 20 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 01. 2018

Bc. Jan Salač
autor práce

Poděkování

Chtěl bych zde poděkovat paní Ing. Ivaně Kameníčkové, Ph.D. za její odbornou pomoc, cenné rady a trpělivost při zpracování.

Obsah

CÍL PRÁCE.....	12
A. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	13
1. Hydraulické charakteristiky půdy.....	13
1.1 Metody pro stanovení hydraulických vlastností nasycených a nenasycených půd	14
1.1.1 Metody pro stanovení retenční čáry půdní vlhkosti	14
a) Laboratorní	14
b) Terénní.....	18
1.1.2 Metody pro stanovení nasycené hydraulické vodivosti.....	19
a) Laboratorní	19
b) Terénní.....	22
1.1.3 Metody pro stanovení nenasycené hydraulické vodivosti	27
a) Laboratorní	27
b) Terénní.....	29
1.2 Analytické funkce pro vyjádření retenční čáry půdní vlhkosti.....	31
1.3 Hystereze	33
1.4 Teorie kapilárního modelu.....	34
2. Předpověď hydraulických vlastností půd pomocí pedotransferových funkcí	38
2.1 Rozdělení pedotransferových funkcí	39
a) Texturní	39
b) Kontinuální.....	39
c) Bodové.....	39
d) Parametrické.....	39
2.1.1 Program Rosetta.....	39
2.1.1.1 Prediktory (vstupní data pro Rosettu)	42
B. METODIKA (Praktická část).....	48
1.1 Charakteristika zájmového území.....	48
1.2 Klimatické poměry	48
1.3 Geologicko-litologické poměry	49
1.4 Hydrologické poměry	49
1.5 Způsob zpracování půdy	50
1.6 Vyhodnocení terénního měření.....	50
C. VÝSLEDKY.....	52
D. ZÁVĚR.....	54

E. SEZNAM LITERATURY	55
F. SEZNAM SYMBOLŮ A CHARAKTERISTIK.....	56
G. SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A PŘÍLOH	58
PŘÍLOHY.....	60

ÚVOD

Půda je jednou ze základních složek životního prostředí, která zabírá značnou plochu kontinentů. Je proto velmi důležitá pro udržení života na Zemi. Slouží jako zásobárna vody pro vegetaci, přirozeně filtruje infiltrovanou vodu a je důležitou součástí hydrologického cyklu.

Prostor, ve kterém může voda v půdě pohybovat, není neomezeně velký. Jeho maximální rozměr odpovídá objemu pórů. Průtok vody přes půdní prostředí charakterizuje hydraulická vodivost. O nasyceném prostředí hovoříme ve chvíli, kdy voda při svém proudění vyplňuje všechny póry zeminy. Pokud se půda nasytí jen částečně, pak je část pórů vyplněna vzduchem a mluvíme o nenasyceném prostředí. Při proudění tímto prostředím se může voda dosycovat nebo odvodňovat.

Retenční čára půdní vlhkosti vyjadřuje rovnovážný vztah mezi vlhkostí půdy a vlhkostním potenciálem. Tato křivka je unikátní pro každou půdu, protože závisí na půdních vlastnostech jako je zrnitost, objemová hmotnost, struktura nebo obsah organické hmoty.

Pro uchování půdního prostředí a jeho vlastností pro další generace je nutné posoudit dopad zemědělství a lesnictví na propustnost půdního povrchu, která přímo souvisí s retenční kapacitou půdy, infiltrací, povrchovým odtokem a evapotranspirací.

I přes neustálé zlepšování metod pro měření hydraulických vlastností půdy, jsou stále terénní měření obtížně měřitelná a časově i finančně náročná. Alternativou přímých metod měření jsou řešení pomocí pedotransferových funkcí. Tyto funkce využívají pro odhad hydraulických vlastností půdy jednodušeji stanovitelné charakteristiky půdy, jako například texturu nebo obsah humusu.

CÍL PRÁCE

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku měření a vyhodnocení hydraulických charakteristik půdy. V literární rešerši jsou rozebrány definice hydraulické vodivosti a retenční čáry půdní vlhkosti, jejich měření v laboratorních i polních podmínkách a předpověď pomocí pedotransferových funkcí.

Cílem praktické části práce je stanovit hydraulickou vodivost pro experimentální plochy v blízkosti obce Bohaté Málkovice, a to pomocí přímých i nepřímých metod. Pro odhad nasycené hydraulické vodivosti K_s se použila data obdržená z terénního měření infiltrace výtopou, která byla vyhodnocená pomocí fyzikálních rovnic (Philip, tříparametrická rovnice Philipova typu). Nenasycená hydraulická vodivost $K(h)$ se měřila v terénu pomocí minidiskových infiltrometrů a naměřená data se vyhodnotila pomocí Zhangovy metody. Pro laboratorní stanovení nasycené hydraulické vodivosti K_s se použil permeametr s konstantním spádem, do kterého se umístily neporušené půdní vzorky odebrané z kopaných sond v blízkosti infiltračních experimentů. Výsledky z laboratorních měření byly porovnány s odhadem nasycené hydraulické vodivosti obdržené z terénních měření infiltrace.

A. LITERÁRNÍ REŠERŠE

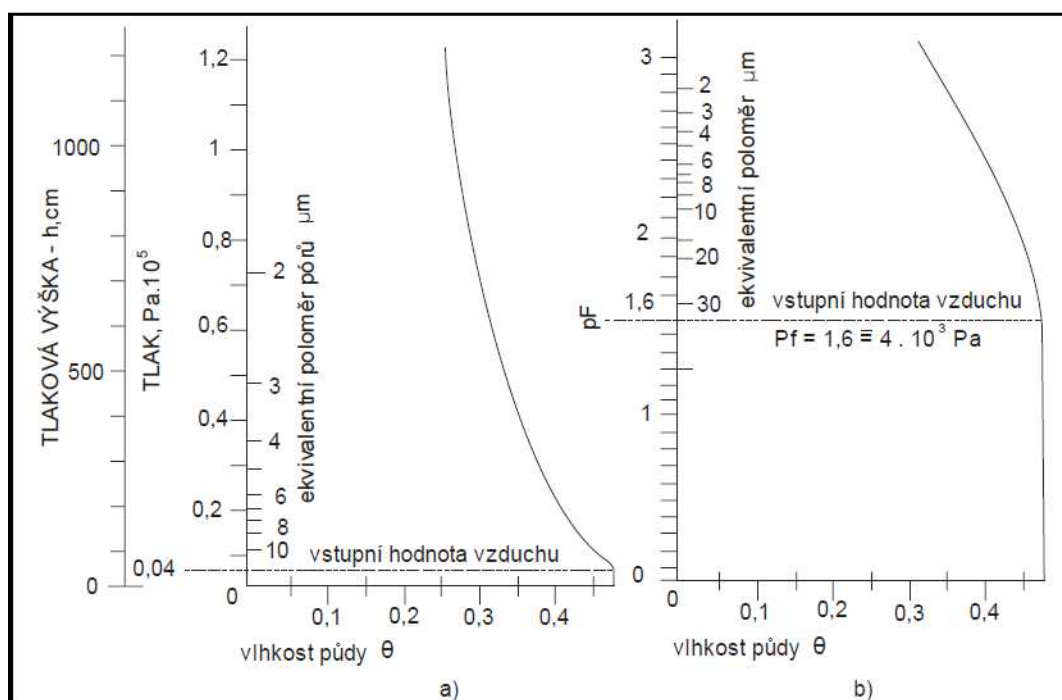
1. Hydraulické charakteristiky půdy

Hydraulickými charakteristikami půdy rozumíme základní veličiny, které popisují hydraulické vlastnosti půdního prostředí. Patří mezi ně retenční čára půdní vlhkosti a průběh hydraulické vodivosti.[1]

Retenční čára půdní vlhkosti

Retenční čarou půdní vlhkosti rozumíme grafické zobrazení vztahu mezi vlhkostí půdy (procentuálním množstvím vody v půdě θ) a vlhkostním potenciálem (sací tlak nebo tlaková výška h_w). Průběh grafu závisí na mnoha faktorech – struktuře, zrnitosti, objemové hmotnosti, mineralogickém složení a obsahu humusu v půdě. Proto je nemožné jeho průběh stanovit odhadem a stanovuje se pro každou půdu zvlášť (díky různorodosti výše jmenovaných vlastností různých půd).

Při grafickém vykreslení se volí měřítko podle rozsahu vlhkostního potenciálu. Při menších rozptylech sacích tlaků (mezi 0-200 cm tlakové výšky) vynášíme graf v lineárním měřítku, naopak při větších tlacích (0-10000cm a více) se používá semilogaritmického zobrazení. Hodnotu tlakové výšky, při které nastává odvodnění půdy a dochází u ní k pronikání vzduchu, označujeme jako vstupní hodnotu vzduchu h_v . Ta se mění pro různé druhy půd (rozdílná objemová hmotnost ρ_m) a může nabývat i nulových hodnot ($h_v = 0$).[2]



Obrázek 1: Retenční čára půdní vlhkosti: a) lineární měřítko, b) semilogaritmické měřítko

Hydraulická vodivost

Nasycená hydraulická vodivost K_s popisuje proudění vody přes půdní prostředí. Nenasyčená hydraulická vodivost charakterizuje průběh hydraulické vodivosti v závislosti na vlhkosti půdy nebo na vlhkostním potenciálu ($K(\theta)$, respektive $K(h)$).

1.1 Metody pro stanovení hydraulických vlastností nasycených a nenasyčených půd

Metody pro stanovení nasycené hydraulické vodivosti K_s lze rozdělit na metody přímé (v laboratoři nebo v terénu) a nepřímé – odvozené z jiných veličin jako např. textury, struktury objemové hmotnosti nebo obsahu humusu v půdě. Nepřímé metody však podávají u středně těžkých a těžkých půd pouze informativní výsledky a proto je můžeme využít jen jako základní odhad pro numerické modely, který tyto výsledky následně zpřesní.

1.1.1 Metody pro stanovení retenční čáry půdní vlhkosti

a) Laboratorní

Mezi laboratorní způsoby měření retenční čáry půdní vlhkosti patří stanovení v podtlakových nebo přetlakových přístrojích (použití pískového tanku, přetlakového aparátu nebo Tempskécely).

Měření na pískovém tanku

Pomůcky pro laboratorní měření: Kopeckého válečky s odebranými vzorky (objem 100 cm³), filtrační papír, zařízení na sycení vzorků, váha (s přesností na 0,02 g), sušárna s termostatem, pískový tank a hodinové sklo.

Příprava měření: Před začátkem měření se pomocí směsi destilované vody a toluenu (v poměru 1000:1) eliminují všechny živé organismy ve vzorcích. Spodní strana válečků s půdou se podloží tkaninou, která se uchytlí gumičkou. Horní část se přikryje hodinovým sklem a vzorek se nechá kapilárně nasytit po dobu 24 hodin (k tomu se využije čtyř vrstev filtračního papíru a destilované vody). Nasycená zemina se i s válečkem zváží na hodinovém skle.

Pískový tank se k měření naplní umělým pískem a nasytí se destilovanou vodou (použitím zásobní lahve). Nasycené půdní vzorky se vloží do pískového tanku. Jemným přitlačením a pootočením se docílí dokonalého kontaktu se pískovou náplní.

Vlastní měření: Měření probíhá při tlacích vodního sloupce v rozmezí od 10 - 100 cm. Pomocí jezdce se na stupnici nastaví hodnota tlaku 10 cm a začne se odsávat voda až do rovnovážného stavu. Doba pro dosažení rovnováhy se různí – závisí na zrnitosti vzorků a na nastavené hodnotě podtlaku (čím vyšší, tím delší doba je potřeba k dosažení rovnovážného stavu). Poté se vzorky vyjmou, hodinovým sklem se zabrání ztrátě výparem z jejich povrchu a zváží se.

Zvážené vzorky se na spodní straně jemně ovlhčí rozprašovačem, znovu se vloží do pískového tanku a celé měření probíhá znovu, při vyšší hodnotě podtlaku (postupně pro 20, 40 a 80 cm). Naměřené výsledky se zaznamenávají do formuláře.[6]



Obrázek 2: Pískový tank (zdroj: <https://www.fzp.czu.cz>)

Měření v přetlakovém přístroji

Přetlakové přístroje jsou vhodné pro vyšší hodnoty sacího tlaku. Základním prvkem přístroje je přetlaková komora a keramické desky. Víko přetlakové komory se zajišťuje

masivními šrouby. Přetlak zajišťuje kompresor, regulovatelný pomocí ventilů a manometrů. U výtokových hadiček se připojují byrety pro sledování drénované vody ze vzorků.

Pomůcky pro laboratorní měření: Přetlakové přístroje s příslušenstvím, Kopeckého válečky s odebranými vzorky, váha s přesností na 0,02 g, sušárna s termostatem a hodinové sklo.

Příprava měření: Keramická deska (o hodnotě 1 bar) se vloží do destilované vody tak, aby vyčníval pouze kovový náustek, který se nechá sytit 2 – 3 dny. Měří se při tlacích v rozmezí od 1 do 15 barů.

Postup měření: Jako první se použije keramická deska o hodnotě 1 bar. Lehce ovlhčené vzorky se vloží na nasycenou desku a jemně se s nimi pootočí pro dosažení dokonalého kontaktu. Nádoba se uzavře a zajistí utažením jistících šroubů.

Po uzavření přetlakové komory se pomocí kompresoru napumpuje do systému vzduch. Pomocí regulačního ventilu k manometru se nastaví požadovaná hodnota tlaku pro měření. Otevře se přívod do tlakové nádoby a poté kohout na byretě, ve které se sleduje výtok drénované vody. V první fázi uniká kromě vody i vzduch z prostoru za membránou. Pozoruje se zvyšování úrovně hladiny v byretě a čeká se na dosažení rovnovážného stavu. Poté se byreta uzavře, zruší se přetlak a vypustí se vzduch z nádoby. Vzorky se vyjmou a zváží.

U vyšších tlaků se postupuje stejně, hodnota přetlaku se zvýší pomocí kompresoru a reguluje se pomocí regulačního ventilu. Pokud je nutno měření při vyšším tlaku, než nabízí kapacita keramické desky, musí se nechat nasytit nová deska – s vyšší kapacitou (5 nebo 15 barů).

Po ukončení měření se vzorky vysuší v sušárně do konstantní hmotnosti (při teplotě 105°C). Stanoví se tára a vlhkostní údaj se přepočítá na sušinu. Retenční hodnoty vlhkosti odpovídají příslušným tlakům, všechny hodnoty se zaznamenávají do formuláře. [6]



Obrázek 3: Přetlakový přístroj (zdroj: <https://www.fzp.czu.cz>)

Tempská cela

Jedná se o podtlakový i přetlakový přístroj. Vzorek půdy se umístí na keramickou destičku. Ta je nasycena vodou a ve spodní části připojena k byretě s vodou. Půdní vzorek se v Tempské cele nejprve nasytí a poté se v několika tlakových krocích drénují nebo zvlhčují. Úroveň tlaku se nastaví polohou byrety pod keramickou destičkou nebo díky přetlaku vzduchu na horní části přístroje. Schéma Tempské cele je zobrazeno v obr.4.

Body retenční čáry jsou dány nastavenými hodnotami tlakových výšek a jim odpovídající objemové vlhkosti, vypočítané ze vzorce:

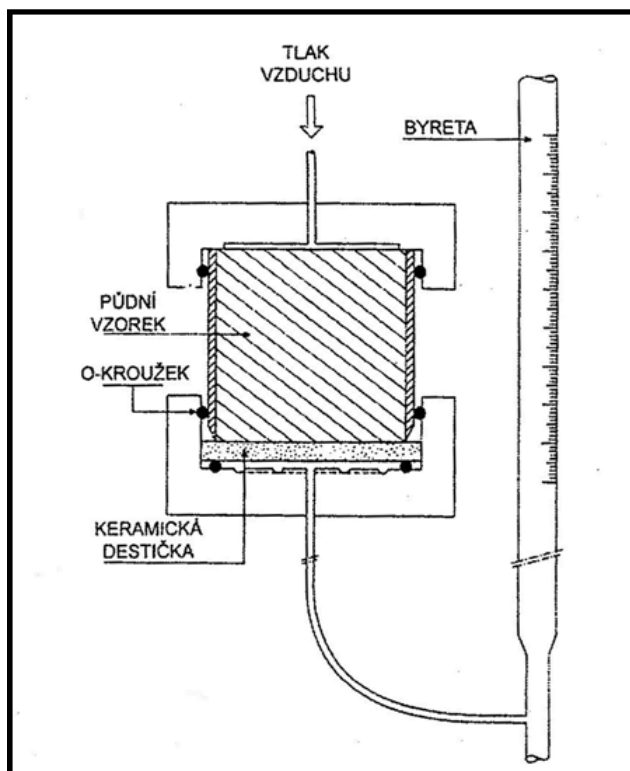
$$\Delta\theta = \frac{V_w}{V_s} \quad (1.1.1)$$

kde:

$\Delta\theta$ – změna vlhkosti mezi dvěma tlakovými kroky [-],

V_w – objem vody [m³],

V_s – objem půdního vzorku [m³].



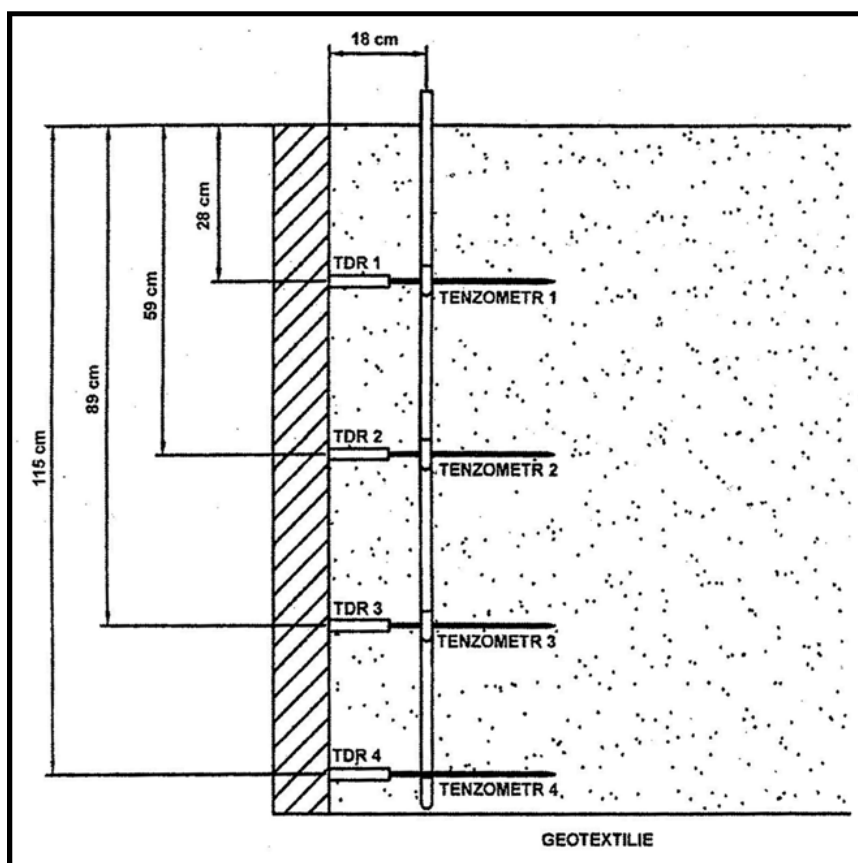
Obrázek 4: Tempská cela[8]

b) Terénní

Mezi metody měření retenční čáry půdní vlhkosti v terénu se řadí využití čidel na měření vlhkosti (neutronová sonda a kapacitní metoda, TDR senzory) a tlaku. Ty se umísť do konkrétních hloubek půdního profilu (obr. 6). Pomocí naměřených objemových vlhkostí a jim odpovídajícím tlakový výškám jsou stanoveny body retenční čáry. Tyto postupy lze použít i v laboratorním prostředí.



Obrázek 5: TDR senzor



Obrázek 6: Schéma umístění TDR čidel a tenzometrů

1.1.2 Metody pro stanovení nasycené hydraulické vodivosti

a) Laboratorní

Nasycená hydraulická vodivost K_s se v laboratoři stanovuje na neporušených půdních vzorcích, odebraných v Kopeckého válečkích (obvykle o objemu 100 cm^3). Tento postup však není dost přesný, ale ani při odběru větších objemů nedojde ke zlepšení (při převozu odebraných vzorků může dojít ke zhutnění půdy nebo ke tvorbě preferenčních cest kolem stěn válečku).

Měření na přístroji s konstantním spádem

Pomůcky pro laboratorní měření: Kopeckého válečky s odebranými vzorky, filtrační papír, zařízení na kapilární nasávání válečků, přístroj na měření hydraulické vodivosti s konstantní hladinou

Postup měření: Vzorky půdy se nechají kapilárně nasytit na filtračním papírku. V okamžiku, kdy se u vzorků dosáhne maximální kapilární kapacity, vloží se do permeamtru

s konstantním spádem a dosytí se plnou vodní kapacitu. V mnoha případech se vzorek nepodaří nasytit na vlhkost odpovídající plné pórovitosti (díky malému podílu zůstatkového vzduchu). Proto se naměřená hydraulická vodivost vztahuje k experimentální dosažené vlhkosti. Dolní hladina vody se v permeamtru kontroluje pomocí přepadu, horní hladina pomocí elektronického čidla. Hodnota hydraulické vodivosti se následně vypočítá z ustáleného průtoku dle vztahu:

$$K = \left(\frac{q}{S}\right) \cdot \left(\frac{l}{H}\right) \quad (1.1.2)$$

kde:

q – ustálený průtok ($q = V/\Delta t$) [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

V – objem vody proteklý za čas Δt [m^3],

S – plocha válečku [m^2],

l – výška válečku [m],

H – konstantní rozdíl hladin [m].



Obrázek 7: Permeametr s konstantním spádem (zdroj: <https://www.fzp.czu.cz>)

Měření na přístroji s proměnlivým hydraulickým sklonem

Pomůcky pro laboratorní měření: Kopeckého válečky s odebranými vzorky, filtrační papír, zařízení na kapilární nasávání válečků, přístroj na měření hydraulické vodivosti s proměnlivým hydraulickým sklonem

Postup měření: Po nasycení vzorků na filtračním papírku, se válečky v laboratoři umístí propustoměru. Je nutné správně indikovat úroveň hladiny a co nej přesněji změřit průtok vzorkem. Ze známého hydraulického sklonu a průtoku se potom nasycená hydraulická vodivost vypočítá dosazením do Darcyho rovnice:

$$v = K_s \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad (1.1.3)$$

Rychlost poklesu hladiny můžeme zapsat ve tvaru $v = dh/dt$. Po dosazení získáme tvar:

$$-\frac{dh}{dt} = K_s \cdot \frac{h}{L} \quad (1.1.4)$$

Separací proměnných a integrací ve vzorci 1.1.3 obdržíme:

$$K_s = \frac{L}{t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (1.1.5)$$

kde:

h_1 – úroveň hladiny na počátku ($t=0$)[m],

h_2 – úroveň hladiny na konci měřeného úseku[m],

L – délka vzorku[m],

t – měřený časový úsek [s].

K laboratornímu stanovení nasycené hydraulické vodivosti přistupujeme pouze tehdy, když ji není možné měřit přímo v terénu. Hlavním důvodem je množství chyb, kterými je laboratorní měření zatíženo. Kromě chyb způsobených velikostí a transportem vzorku, může

být jedním z problémů i vyplavování nejjemnější frakce u nestrukturních půd. Pokud zabráníme jejich vyplavení z půdy, částice utěsní spodní část vzorku, což ovlivní hodnotu K_s (naměření nižších hodnot). Podobný problém nastane, pokud jsou částice ze vzorku odplaveny úplně a naměřené hodnoty hydraulické vodivosti budou stoupat.[6]

b) Terénní

Mezi základní metody terénního měření hydraulické vodivosti patří čerpací pokus. Při něm měříme čerpané množství ze studny a pomocí kontrolních sond pozorujeme snížení hladiny. Pokud hladina podzemní vody prochází měřeným půdním profilem, používáme jednosondovou metodu.

Jednosondová metoda

Hydraulická vodivost se počítá pomocí měřených rychlostí zaplnění sondy filtračním přítokem přes stěny a dno sondy po odčerpání určitého objemu vody.

Pomůcky pro laboratorní měření: Sondovací tyč, čerpadlo, plovák

Postup měření: Pomocí sondovací tyče se vyvrtá do zeminy sonda, hloubky alespoň 40 cm a zaznamenaná se ustálená hladina vody H . Čerpadlem se sníží výška hladiny v sondě (minimální výška $0,25 \cdot H$). Filtrační přítok do sondy je pozorován pomocí plováku. Předpokladem pro výpočet je homogenní půda se stejnou propustností po celém svém profilu. Obecný vzorec pro výpočet hydraulické vodivosti je:

$$K_s = C \cdot \frac{dy}{dt} \quad (1.1.6)$$

kde:

C – bezrozměrný tvarový součinitel (závislý na poloměru a hloubce sondy, hloubce hladiny podzemní vody)[-], vypočítaný dle vztahu podle Ernsta:

$$C = 4000 \cdot r \cdot \left(\frac{H}{r} + 20 \right) \cdot \left(2 - \frac{y}{H} \right) \cdot y \quad (1.1.7)$$

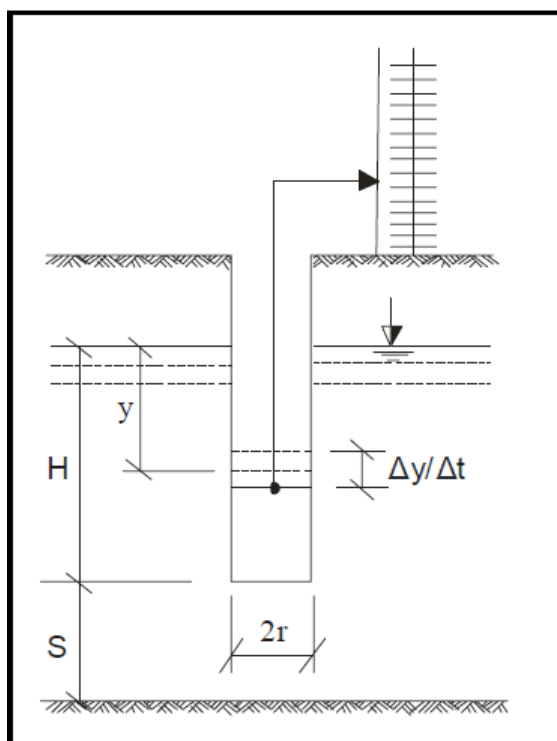
Pokud dno sondy zasahuje až na nepropustné podloží ($S=0$), má rovnice následující tvar:

$$C = 3600 \cdot r \cdot \left(\frac{H}{r} + 10 \right) \cdot \left(2 - \frac{y}{H} \right) \cdot y \quad (1.1.8)$$

kde:

r – poloměr sondy[m],

H – hloubka vody v sondě při ustálené hladině [m].



Obrázek 8: Schéma jednosondové metody

Piezometrická metoda

Tato metoda je principiálně stejná jako jednosondová. Jediným rozdílem je zapažení stěn sondy nepropustnou výpažnicí. Voda proto proudí pouze přes dno a je tak vhodná pro stanovení vertikální složky hydraulické vodivosti. Výhodou je měření K_s jednotlivých vrstev u nehomogenních půd pod hladinou podzemní vody.[1]

Měření infiltrace výtopou – dvouválcový infiltrometr

V tomto terénním pokusu se měří množství vsáklé vody uvnitř menšího ze dvou válců (větší slouží pro zachování přibližně svislých proudnic) umístěných na povrchu půdy. Měřit infiltraci lze dvěma způsoby – přidáváním konstantního množství vody a měřením časového intervalu mezi jednotlivými dávkami nebo díky měření poklesu hladiny z počáteční výšky (bez doplňování vody).

Dvouválcová metoda využívá dvou ocelových válců (průměr vnějšího válce by měl být alespoň 1,73x násobek vnitřního). Válce se umísťují na očištěný povrch (tak, aby však nebyl narušen přirozený stav povrchu) a zarazí se asi 10 – 20 cm do země. V blízkosti pokusu se odebere vzorek pro stanovení momentální vlhkosti. Na povrch zeminy ve válci se osazuje děrovaná deska, aby se zabránilo rozplavení při nalévání vody. V obou válcích se udržuje stejná výška hladiny – pro zamezení vlivu přetlaku.



Obrázek 9: Dvouválcový infiltrometr (zdroj: <http://hydropedologie.agrobiologie.cz/>)

Infiltraci výtopou lze vyhodnotit pomocí empirických i fyzikálně odvozených rovnic. Nejčastěji se používají rovnice Philipa a tříparametrická rovnice Philipova typu. Obě řešení vychází z Philipovy nekonečné řady a jsou řešeny pomocí determinantů nebo Gaussovou eliminační metodou.

Rovnice Philipa – soustava dvou rovnic o dvou neznámých

$$S \sum_{i=1}^m t + A \sum_{i=1}^m t^{3/2} = \sum_{i=1}^m i_t \cdot t^{1/2}$$

a

$$S \sum_{i=1}^m t^{3/2} + A \sum_{i=1}^m t^2 = \sum_{i=1}^m i_t \cdot t$$

(1.1.9)

kde:

 S – sorptivita [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$], A – parametr s rozměrem rychlosti i [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], t – čas [s], i_t – kumulativní infiltrace [m],Z parametru A lze vypočítat odhad nasycené hydraulické vodivosti K_s dle vzorce:

$$K_s = A \cdot m \quad (1.1.10)$$

kde:

 m – konstanta ($m = 0,66667$) [-].Tříparametrická rovnice Philipova typu (TRPT) – soustava tří rovnic o třech neznámých

$$C_1 \sum_{i=1}^m t_i + C_2 \sum_{i=1}^m t_i^{3/2} + C_3 \sum_{i=1}^m t_i^2 = \sum_{i=1}^m i_t \cdot t_i^{1/2}$$

$$C_1 \sum_{i=1}^m t_i^{3/2} + C_2 \sum_{i=1}^m t_i^2 + C_3 \sum_{i=1}^m t_i^{5/2} = \sum_{i=1}^m i_t \cdot t_i$$

$$C_1 \sum_{i=1}^m t_i^2 + C_2 \sum_{i=1}^m t_i^{5/2} + C_3 \sum_{i=1}^m t_i^3 = \sum_{i=1}^m i_t \cdot t_i^{3/2} \quad (1.1.11)$$

Pomocí vypočtených parametrů C_1 , C_2 a C_3 lze určit limitní čas t_{lim} a rychlost infiltrace v tomto čase, která představuje odhad hydraulické vodivosti K_s .

$$t_{lim} = \frac{C_1}{3 \cdot C_3} \quad (1.1.12)$$

$$K_s = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2 \quad (1.1.13)$$

Měření a vyhodnocení dvouválcové metody bylo blíže popsáno v mé bakalářské práci[5]

Guelphský permeametr

Přístroj funguje na principu Mariottovy láhve. Měření probíhá v nezapažené vrtané sondě, poloměru 2 – 5 cm, hloubky do 1 m. Přístroj je složen ze zásobníku na vodu a perforované výtokové části. Zavzdušňovací trubička uvnitř permeamtru slouží k nastavení výšky hladiny vody H v sondě. Principem přístroje je dosažení vakua v rezervoáru. Měří se časový průběh poklesu hladiny v rezervoáru až po dosažení rovnovážného stavu.

$$K_{fs} = \frac{C \cdot Q}{(2 \cdot \pi \cdot H + C \cdot \pi \cdot r)} \quad (1.1.14)$$

kde:

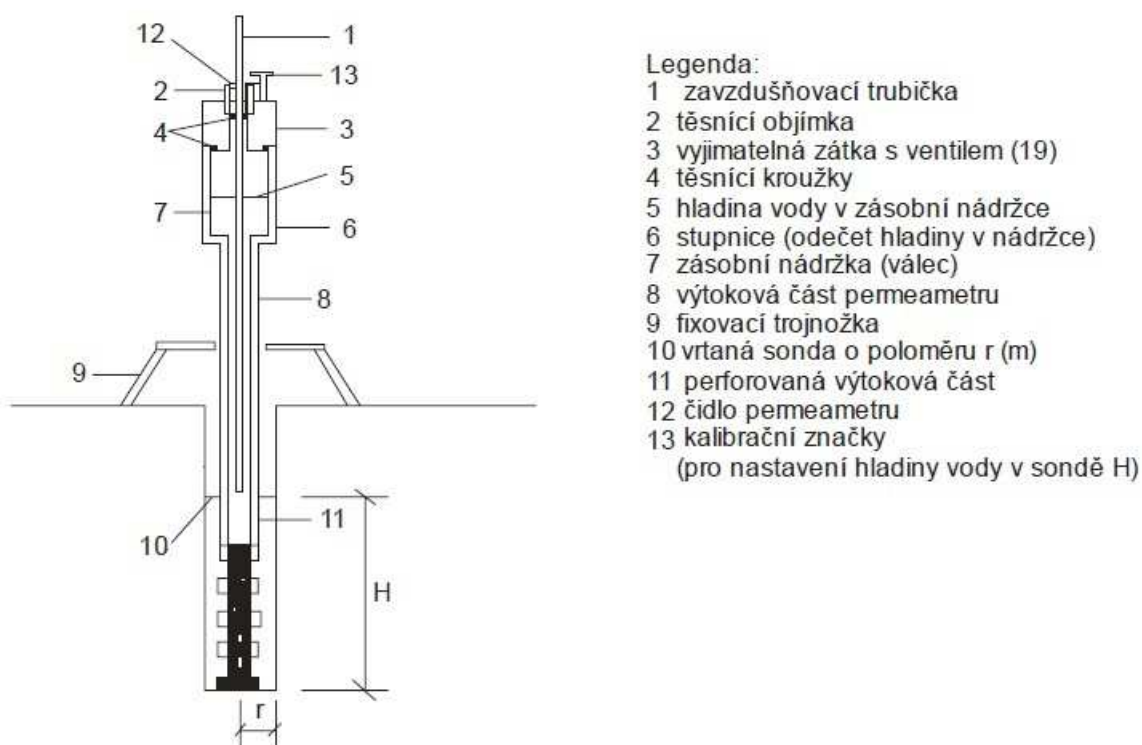
K_{fs} – hydraulická vodivost při terénním nasycení [$m \cdot s^{-1}$],

C – bezrozměrný tvarový součinitel [-],

Q – stacionární hodnota výtoku z permeamtru [$m^3 \cdot s^{-1}$],

r – poloměr vrtané sondy [m],

H – výška vody v sondě [m].



Obrázek 10: Guelphský permeametr [2]

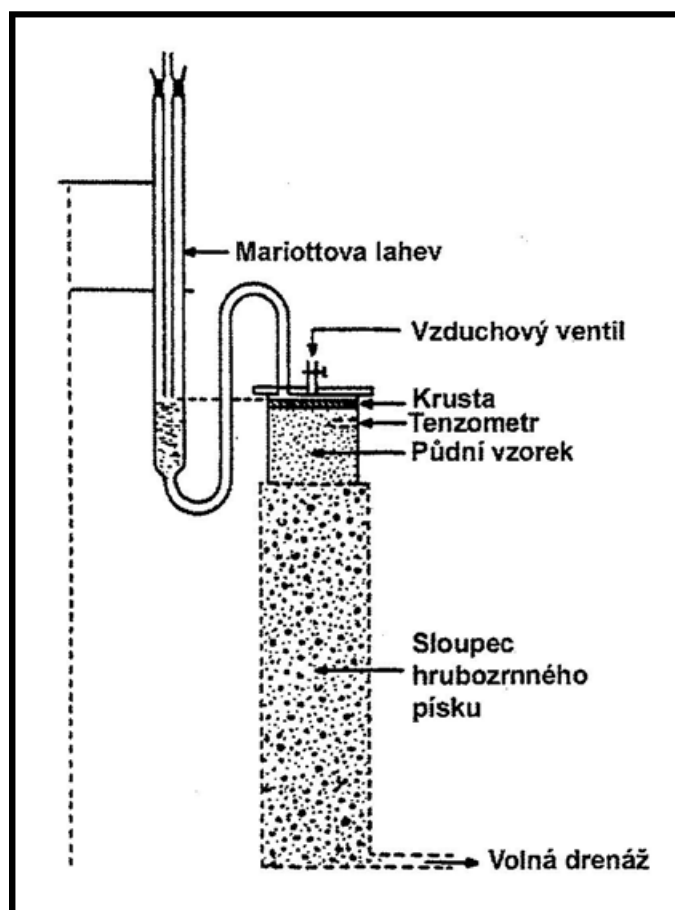
1.1.3 Metody pro stanovení nenasyčené hydraulické vodivosti

a) Laboratorní

Crust metoda

Metoda je založena na principu proudění vody přes půdní profil. Vzorek půdy se umístí na sloupec hrubozrnného písku, přes který bude volně protékat drénovaná voda. Dovnitř vzorku se umístí tenzometr pro měření tlakových výšek. Horní okraj je zakryt krustou z jemnozrnného materiálu, která zredukuje průtok na vzorek a vyvolá tak nenasyčené proudění. Schopnost krusty redukovat přítok vody závisí na mocnosti vrstvy a jemnozrnnosti materiálu. Tlaková výška se nastavuje nad horním okrajem krusty. Body křivky hydraulické vodivosti jsou určeny pomocí naměřených tlakových výšek, známého průtoku a gradientu potenciálu.[8]

Schéma crust metody je zobrazeno v obr.11.



Obrázek 11: Schéma crust metody[8]

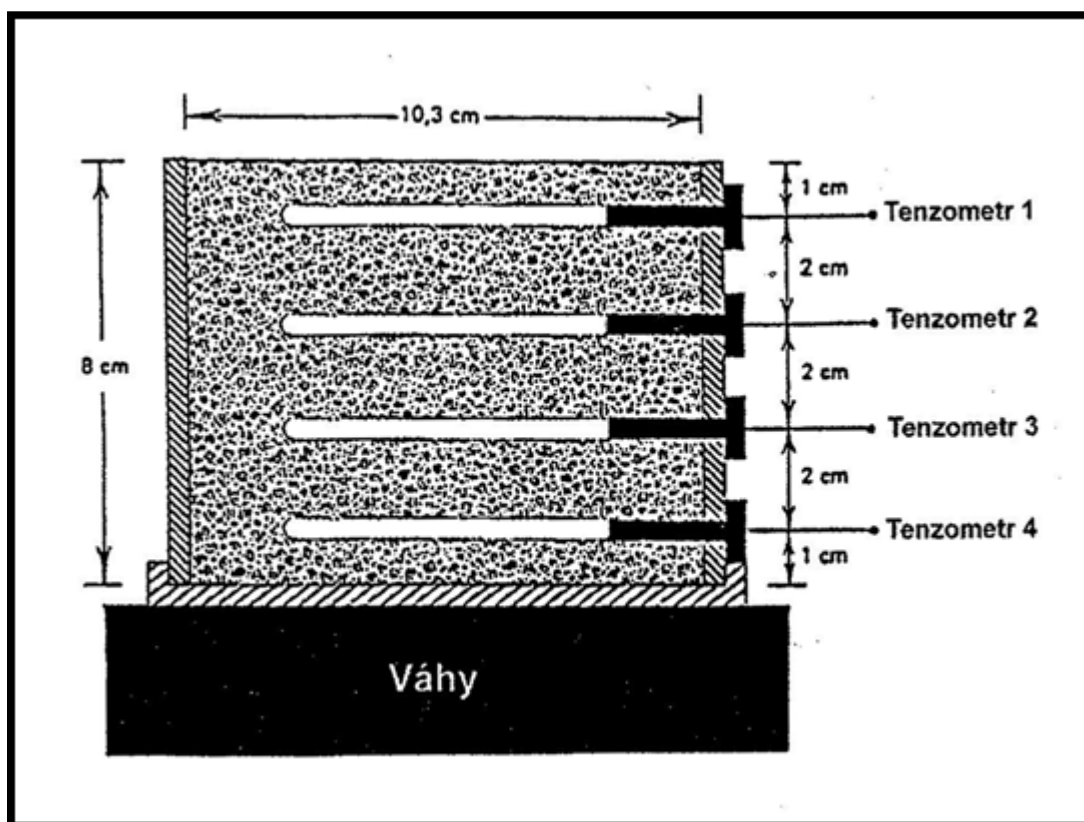
One-step multi-step outflow

Tento pokus má podobný průběh, jako měření v Tempské cele (viz. kapitola 1.1.1.). Na začátku měření je vzorek půdy nasycen tak, aby hladina vody v byretě odpovídala úrovni středu válečku nebo jeho spodního okraje. Poté se během několika tlakových kroků snižuje hladina v byretě nebo se využívá přetlaku vzduchu nad horním okrajem válečku. Vzorek je při každém tlakovém kroku drénován do ustáleného stavu. V průběhu pokusu se měří kumulativní odtok ze vzorku v čase.

Evaporační metoda

Tento plně nasycený půdní vzorek se umístí na váhu a opatří se tenzometry. Měří se úbytek vody výparem ze vzorku za čas a zároveň tlaková výška pomocí tenzometrů – jak je patrné z obr.12.

Body retenční křivky se určí pomocí bilance vypařeného objemu vody a odpovídající naměřené tlakové výšce.[8]



Obrázek 12: Schéma evaporační metody

b) Terénní

Minidiskový infiltrometr

Jde o malé infiltrační zařízení s manuální obsluhou, které slouží k měření nenasycené hydraulické vodivosti povrchu, na kterém je umístěno. Velikou výhodou při použití minidiskového infiltrometru je jednoduchá manipulace s přístrojem a malá potřeba vody na provedení měření. Nevýhodou je posouzení malého úseku půdy.

Přístroj je složen z trubice, rozdělené do dvou komor (horní pro nastavení tlakové výšky, spodní sloužící jako odměrný válec), porézního disku z nerezové oceli ve spodní části přístroje a trubiček pro spojení obou komor a nastavení tlakové výšky. Nastavení tlakové úrovně závisí na typu půdy (vyšší u písčitých půd, nižší u půd kompaktnějších).

Začátek měření nastává ve chvíli, kdy se minidiskový infiltrometr umístí na povrch půdy. Do tabulky se zapíše počáteční objem vody na počátku měření a poté se zaznamenávají v pravidelných intervalech hodnoty objemu proniklé vody do půdy. Pokus se vyhodnocuje pomocí tabulkového procesoru Microsoft Excel, který dodává výrobce. Výpočtem získáme hodnotu infiltrace vody do půdy i :

$$i = C_1 \cdot t + C_2 \cdot \sqrt{t}. \quad (1.1.15)$$

Pro vyhodnocení nenasyčené hydraulické vodivosti $K(h)$ lze použít vztah:

$$K(h) = \frac{C_1}{A} \quad (1.1.16)$$

kde:

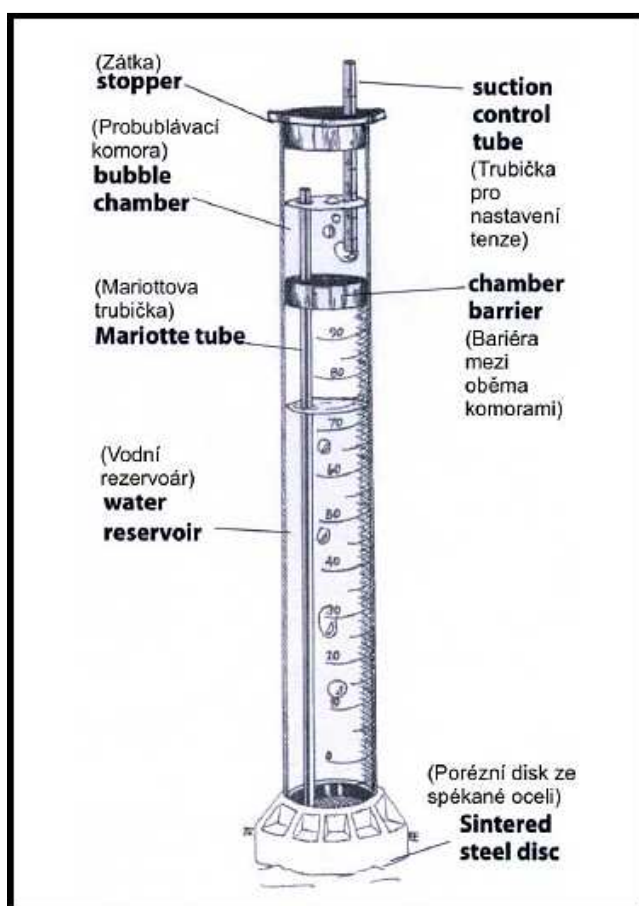
i – infiltrace [m],

C_1 – sklon křivky kumulativního pronikání ve vztahu k druhé mocnině času [-],

A – hodnota vztahující van Genuchtenovy parametry pro daný typ půdy k míře sání a poloměru disku infiltrometru [-],

C_2 – parametr vyrovnávacího procesu [-],

t – čas [s].



Obrázek 13: Schéma minidiskového infiltrometru[7]

Měření a vyhodnocení minidiskového infiltrometru bylo blíže popsáno v mé bakalářské práci[5]

1.2 Analytické funkce pro vyjádření retenční čáry půdní vlhkosti

Díky laboratorním měřením retenční čáry jsou získány experimentální body (dané dvojicí tlakových výšek h_i a vlhkosti, která jim odpovídá θ_i). Pro použití v simulačních modelech se proloží retenční čára analytickým výrazem.

Efektivní vlhkost θ_e je veličina, vyjadřující efektivní stupeň nasycení půdy.

$$\theta_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) \quad (1.2.1)$$

kde:

θ_e – objemová vlhkost[-],

θ_s – nasycená vlhkost[-],

θ_r – reziduální vlhkost (neproudí v půdě)[-].

Reziduální vlhkost θ_r při praktickém použití zanedbáváme nebo ji uvažujeme jako nulovou ($\theta_r = 0$). Po dosazení do vzorce 1.2.1 poté platí:

$$\theta_e = \theta / \theta_s \quad (1.2.2)$$

Pro analytické vyjádření retenční čáry půdní vlhkosti se nejčastěji používají dva výrazy: Brooks a Corey (z roku 1964); Van Genuchten (1978 a 1980).

Brooks a Corey má následující tvar:

$$\begin{aligned} \theta_e &= (H_b / |h|)^\lambda \rightarrow \text{platné pokud } h < -H_b \\ \theta_e &= 1 \rightarrow \text{platné pokud } h \geq -H_b \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

kde:

h – tlaková výška [m],

H_b – tlak probublávání vzduchu [m],

λ – empirický koeficient (pohybuje se v rozmezí 2–5)[-].

H_b je tedy absolutní hodnota tlakové výšky, u které dochází při snižování tlaku k probublávání vzduchu přes nasycený vzorek půdy. Koeficient λ souvisí se sklonem čáry zrnitosti a indexem rozdělení pórů.

Van Genuchtenův vztah je uváděn jako:

$$\theta_e = 1/[1 + (\alpha \cdot |h|^n)]^m \quad (1.2.4)$$

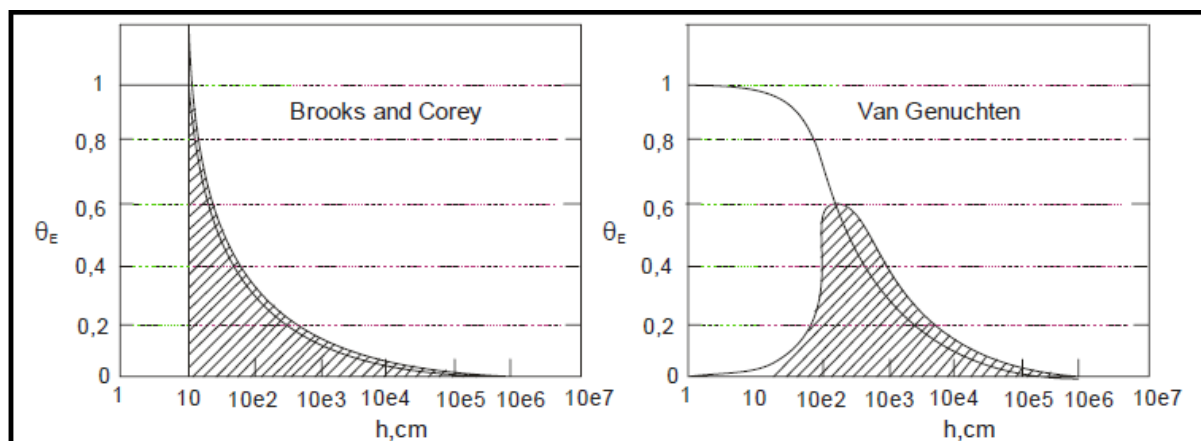
kde:

α – empirický koeficient (pohybující se v rozmezí $10^{-3} - 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$)[m^{-1}],

n – empirický koeficient (1,5 – 6)[-],

m – empirický koeficient ($m = 1 - 1/n$)[-].

Odlišnost obou analytických vztahů pro retenční čáru je patrný z grafického zobrazení (viz. obr.14). Největší odlišnost je v oblasti blízké nasycené vlhkosti půdy.



Obrázek 14: Retenční čára a) podle Brooks-Coreye, b) podle Van Genuchtena

U funkce podle Brookse a Coreye, která je uvedena v hyperbolickém tvaru, nastává zlom (schod) v místě vstupní hodnoty vzduchu (tj. $h = -H_b$). Její tvar je blízký realitě, avšak zcela nevystihuje průběh pro různé typy půd (malá flexibilita výrazu) – podobající se písmenu „S“. Proto nelze plynule definovat snížení vlhkosti poblíž nasycení.

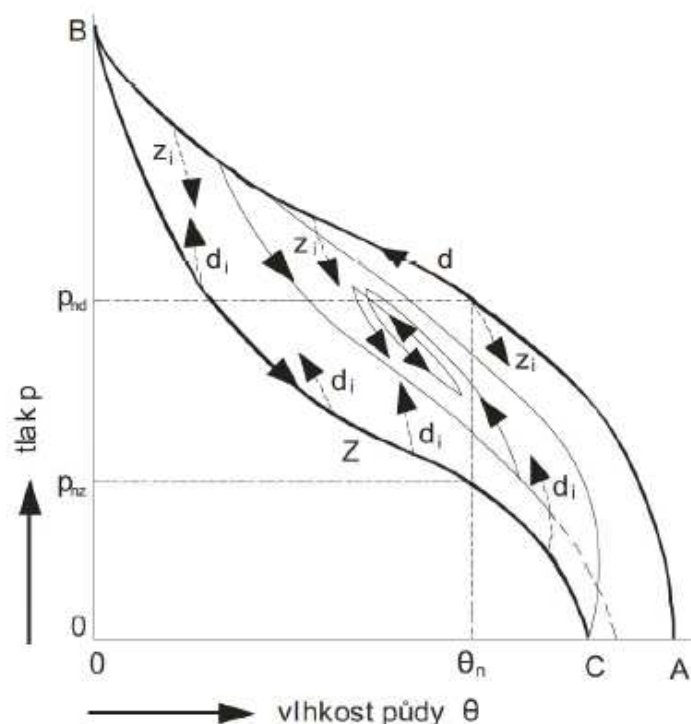
Van Genuchtenův výraz je plynulý, esovitě zahnutý a díky většímu počtu parametrů se lépe prokládá křivkou (je proto lépe použitelný pro odlišné půdní typy). Nedá se u něj předpokládat jiná vstupní hodnotu vzduchu než nulová ($H_b = 0$), což však není u skutečných půd reálné.[6]

1.3 Hystereze

U retenční čáry půdní vlhkosti můžeme pozorovat odlišný průběh při odvodňování vlhké půdy a při zvlhčování půdy z původně suchého stavu. Z toho vyplývá závislost retenční čáry na cestě k dosažení rovnovážné vlhkosti.

V obr.15 jsou prezentované průběhy retenčních čar půdní vlhkosti (tzv. hysterezní smyčky). V prvním kroku byl vzorek půdy zvlhčen na plnou vodní kapacitu (počáteční bod A). Tímto se odstranil veškerý vzduch obsažený ve vzorku. Následně se vzorek pomocí podtlakového a přetlakového aparátu odvodnil (průběh od bodu A do bodu B, po větvi d). Po dosažení nulové vlhkosti se vzorek opět začal postupně zvlhčovat (průběh po větvi z, až do nulového potenciálu – v bodě C). Mnohdy se stane, že nový bod v nulovém potenciálu není totožný s výchozím bodem měření (tzn. $C \neq A$). Je patrné, že z jakéhokoliv místa na drenážní větvi d (respektive zvlhčovací větve z), mohou odbočit přechodové větve zvlhčovací z_i (respektive drenážní d_i). Konkrétní vlhkost θ_n proto může odpovídat jakýkoliv potenciál z prostoru mezi p_{nz} a p_{nd} . Vše záleží na procesu, předcházejícímu dosažení rovnováhy.

Z toho vyplývá, že je při stejné vlhkosti θ_n získáme vyšší vlhlostní potenciál p_n pro drenážní proces a nižší pro zvlhčovací proces.



Obrázek 15: Schéma hysterezní smyčky retenční čáry

Hystereze je způsobena několika faktory – a to zejména vlivem uzavřené vody a vzduchu ve slepých pórech, proměnlivost průřezu pórů rozdílná velikost smáčecího úhlu při pohybu kapaliny na suchém povrchu a ze zvlhčeného prostředí. Proto nelze ihned uvažovat retenční čáru půdní vlhkosti jako kalibrační čáru pro stanovení vlhkostního potenciálu podle naměřené vlhkosti z terénu, ale je nutno uvažovat nad probíhajícím procesem (zvlhčování nebo vysušování) a podle něj správně zvolit větev retenční čáry.[6]

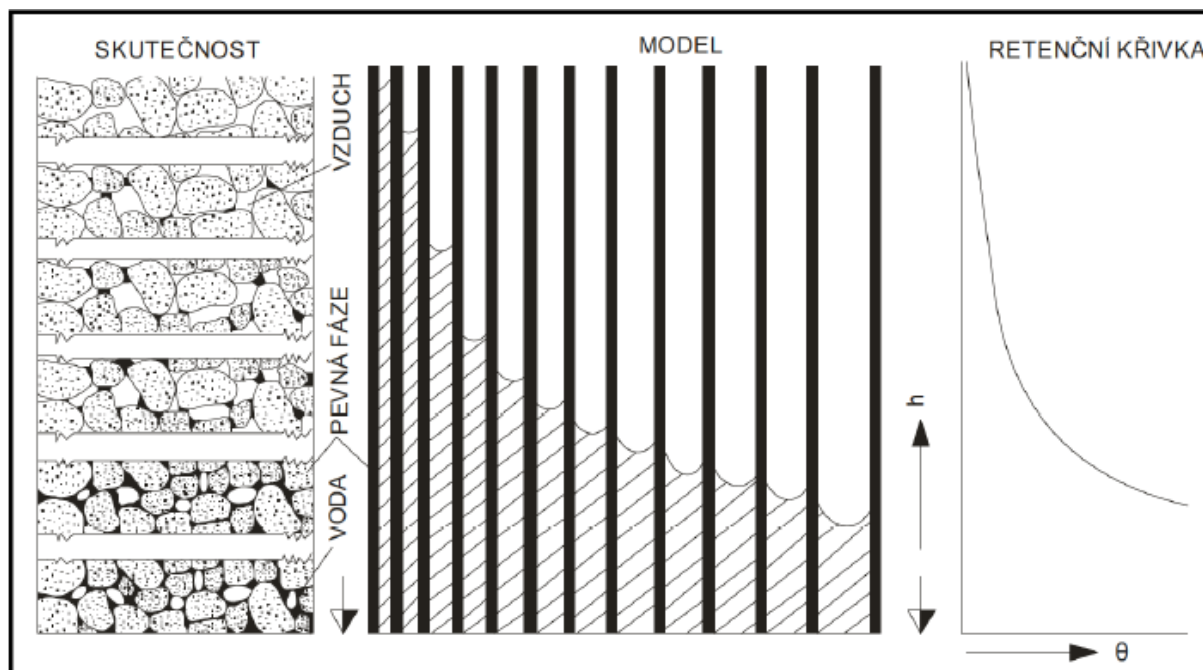
1.4 Teorie kapilárního modelu

Nenasycená hydraulická vodivost může být nepřímě stanovena díky modelům struktury reálného materiálu. Mezi nejčastěji využívané patří kapilární modely.

Prvním krokem je rozbor na kapilární úrovni. Pomocí středování se přejde z rychlosti v jednotlivých kapilárách na celkovou makroskopickou rychlost, ze které se vyjadřuje nenasycená hydraulická vodivost.

Celý postup je založen na dvou základních předpokladech:

- pevná fáze se skládá z rovnoběžných kruhových kapilár (geometrii určuje distribuční funkce rozdělení poloměru kapilár $F(r)$)
- proudění kapaliny v kapilárách je laminární



Obrázek 16: Model rovnoběžných kapilár

Oblast Ω kolmá na kapiláry se při dané vlhkosti rozdělí na tři podoblasti: $\Omega = \Omega_p \cup \Omega_w \cup \Omega_d$; kde Ω_p – část oblasti vyplněná pevnou fází, Ω_w – část oblasti vyplněná kapalnou fází, Ω_d – část oblasti vyplněná plynnou fází.

Uvažujeme-li Ω_n jako část oblasti bez pevné fáze a pro poloměr kapilár $r \in \langle 0, \infty \rangle$ definujeme množinu $\Omega(r)$ – oblast tvořenou póry menšího poloměru než r , má funkce $F(r)$ tvar:

$$F(r) = \frac{\mu[\Omega(r)]}{\mu(\Omega_n)} \quad (1.3.1)$$

kde:

$F(r)$ – distribuční funkce rozdělení poloměru kapilár,

$\mu(\Omega)$ – velikost plochy, kterou zaujímá oblast $\Omega[-]$.

Darcyho rychlost proudění kapaliny přes oblast Ω se určuje vztah:

$$q(\theta) = \frac{1}{\mu(\Omega)} \cdot \int_{\Omega} u(x, y) \, dx dy \quad (1.3.2)$$

Dle Poiseuillova vztahu vyjadřujeme průřezovou rychlost pohybu vody v kapiláře o poloměru r rovnicí:

$$v(r) = \alpha \cdot r^2 \cdot i \quad (1.3.3)$$

kde:

α – konstanta[-],

r – poloměr kapilár[m],

i – hydraulický sklon[-].

Pokud je funkce F (1.3.1) derivovatelná, získáme:

$$\frac{dq}{dr}(r) = v(r) \cdot \frac{dF}{dr}(r) \cdot n \quad (1.3.4)$$

kde:

n – pórovitost ($n = \mu \cdot (\Omega_n) / \mu \cdot (\Omega)$) [-].

Integrací získáme tvar:

$$q(r) = \int_0^r v(r) \cdot \frac{dF}{dr}(r) dr \quad (1.3.5)$$

Dosazením (1.3.1) do (1.3.5):

$$q(r) = \alpha \cdot n_i \int r^2 \cdot \frac{dF}{dr}(r) dr \quad (1.3.6)$$

Z Darcyho vztahu lze odvodit vztah pro hydraulickou vodivost svazku kapilár:

$$K(r) = q(r) \text{ pro } i = 1 \quad (1.3.7)$$

Z toho vyplývá:

$$K(r) = \alpha \cdot n_i \int_0^r r^2 \cdot \frac{dF}{dr}(r) dr \quad (1.3.8)$$

Zavedením vztahu mezi poloměrem kapilár a kapilární výškou $r = \frac{x}{h_c}$ (kde x = konstanta) získáme:

$$K(F) = c \cdot n \cdot \int \frac{1}{h_c^{2 \cdot (F)}} dF, \text{ kde } c = \alpha \cdot x^2 \quad (1.3.9)$$

Nahrazením pórovitosti n za vlhkost θ_s a zároveň ztotožněním kapilární výšky $h_c = -h$ (díky vlastnostem kapilárního modelu a definici vlhkosti):

$$F(r) = \frac{\theta(h)}{\theta_s} = \theta_e(h), \text{ pro } -h = x/r \quad (1.3.10)$$

Základní tvar průběhu hydraulické vodivosti je ve tvaru:

$$K(\theta_s) = c \cdot \theta_s \cdot \int_0^{\theta_e} \frac{d\theta_e}{h^2} \quad (1.3.11)$$

Protože se nedá přesně určit hodnota konstanty c , budou se hodnoty hydraulických vodivostí určených dle vzorce (1.3.11) lišit od reálných hodnot. Proto se používá relativní hydraulická vodivost (odpovídá podílu hydraulické vodivosti k nasycené hydraulické vodivosti):

$$K_r(\theta_e) = \frac{K(\theta_e)}{K(1)} \quad (1.3.12)$$

kde:

θ_e – efektivní vlhkost ($\theta_e = 1$)[-],

$K(1) = K_s$.

Tento vzorec však platí pouze pro vyjádření hydraulického vodivosti jednoduchých kapilárních modelů. Pro popis reálného kapilárního modelu v přírodě je nutno doplnit další rozšíření, a to vliv zakřivení pórů. Toho je docíleno přenásobením výrazu empirickým členem θ_e^b .

Je známo několik modelů, které zavádí toho rozšíření modelu. První vztah pro průběh nenasycené hydraulické vodivosti odvodili Childs a Collins-George (v roce 1950). Mezi nejčastěji používané vztahy pro zjištění relativní hydraulické vodivosti, patří metody dle Burdina (1953)

$$K(\theta_e) = \theta_e^2 \cdot \frac{\int_0^{\theta_e} \frac{d\theta_e}{h^2(\theta_e)}}{\int_0^1 \frac{d\theta_e}{h^2(\theta_e)}} \quad (1.3.13)$$

a podle Mualema:

$$K(\theta_e) = \theta_e^b \cdot \left| \frac{\int_0^{\theta_e} \frac{d\theta_e}{h(\theta_e)}}{\int_0^1 \frac{d\theta_e}{h(\theta_e)}} \right|^2 \quad (1.3.14)$$

kde:

b – empirická konstanta ($b=0,5$)[-].[6]

2. Předpověď hydraulických vlastností půd pomocí pedotransferových funkcí

Pedotransferovými funkcemi (PTF) rozumíme statistické regresní rovnice, které vyjadřují vztah mezi vlastnostmi půdy. Využívají se pro předpověď hydraulických vlastností půd ze snadno stanovitelných půdních vlastností, jako jsou objemová hmotnost nebo zrnitost.[8]

Jsou jedním ze způsobů, jak vyřešit problém nedostupnosti hydraulických půdních dat, protože využívají fyzikální data, získaná při půdních průzkumech. Používají se především pro stanovení retenční čáry půdní vlhkosti a nasycené hydraulické vodivosti. Pedotransferové funkce jsou odvozeny z dat, získaných na konkrétním území, a proto by se neměly používat pro předpovědi vlastností mimo tuto oblast.[9]

2.1 Rozdělení pedotransferových funkcí

a) Texturní

Texturní PTF předpovídají hydraulické charakteristiky na základě zrnitosti půdy. Data se nejprve roztrídí do zrnitostních tříd, optimalizuje se průběh retenčních čar pro získání Mualem - van Genuchtenových parametrů a vypočítá se závislost hydraulické vodivosti na tlakové výšce. Získané charakteristické body se zprůměrují a vypočítají se směrodatné odchylky. Tím jsou nalezeny průměrné křivky pro každou zrnitostní třídu. van Genuchtenovy parametry pro rovnice jsou sestaveny do tabulky rozdělené na 11 zrnitostních tříd.

b) Kontinuální

Jde o sadu regresních rovnic, které zkoumají závislost vlhkosti o konkrétní tlakové výšce na hodnotě prediktoru. Výstupem z těchto PTF je odhad hydraulické vodivosti pro konkrétní půdu s naměřenými prediktory. Kontinuální pedotransferové funkce jsou odvozeny z databáze HYPRES a odhadují Mualem-van Genuchtenovy parametry pro odhad hydraulických vlastností půd.

c) Bodové

Empirická funkce, předpovídající vlhkost v předem definovaných hodnotách tlaku. Nejčastěji se používají odhady vlhkostí pro -10, -33 (polní vodní kapacita) a -1500 kPa (bod vadnutí).

d) Parametrické

Parametrické PTF předpokládají, že vztah vlhkosti na tlakové výšce může být popsán hydraulickým modelem ve formě rovnice o určitém počtu parametrů (např. rovnice Brooks-Corey, van Genuchtenova rovnice). Tato metoda se používá při modelování transportních procesů, protože produkuje spojitě funkce hydraulických vlastností. To umožňuje kombinovat vstupy měřené v různých potenciálech.[9]

2.1.1 Program Rosetta

Stanovování retenční čáry pomocí měření je časově i finančně náročné. Při posuzování většího území se proto řešení zjednodušuje použitím náhradních informací pro stanovení retenční čáry.

Pro určení retenční čáry obecného bodu se proto využívají informace o textuře a struktuře půdy. Stanovení probíhá výpočtem pomocí těchto hodnot, dosazených do pedotransferových funkcí.

Rosetta se používá pro předpověď parametrů hydraulických funkcí (pomocí rovnice van Genuchtena v kombinaci s modelem Mualema). Program je hierarchicky rozdělen do pěti modelů, kdy optimálně využívá zadaná vstupní data.

Jednotlivé úrovně programu Rosetta:

- půdní textura (zrnitostní třídy)
- procentuální podíl písku, prachu a jílu dle texturních poměrů (SSC)
- procento písku, prachu a jílu + objemová hmotnost (SSC + BD)
- procento písku, prachu a jílu + objemová hmotnost + polní vodní kapacita při 3,3 metrech vodního sloupce (SSC + BD + TH 33)
- procento písku, prachu a jílu + objemová hmotnost + polní vodní kapacita při 3,3 m v.s. + bod vadnutí při 150 m v.s. (SSC + BD + TH 33 + TH 1500)

První úroveň pracuje na funkci vyhledávací tabulky, poskytující průměrné hodnoty pro všechny půdní třídy z klasifikačního systému USDA (United States Department of Agriculture – Ministerstva zemědělství USA). Ostatní modely jsou založeny na analýze neuronových sítí. Čím více vstupních dat použijeme pro předpověď parametrů hydraulických funkcí, tím přesnější hodnoty obdržíme.

Všechny modely jsou kalibrovány na shodný soubor dat – obsahující 2134 vzorků retenční čáry půdní vlhkosti, 1306 vzorků nasycené hydraulické vodivosti K_s a 235 vzorků křivky nenasyčených hydraulických vodivostí.

Předpověď retenční čáry využívá van Genuchtenova vztahu pro výpočet efektivního nasycení (1.2.4) a pro odhad nasycené hydraulické vodivosti je využita upravená rovnice dle Mualema:

$$K(S_e) = K_0 \cdot S_e^L \cdot \left\{ 1 - \left[1 - S_e^{n/(n-1)} \right]^{1-1/n} \right\}^2 \quad (2.1.1)$$

kde:

S_e – relativní nasycení[-],

K_0 – bod nasycení[m · s⁻¹],

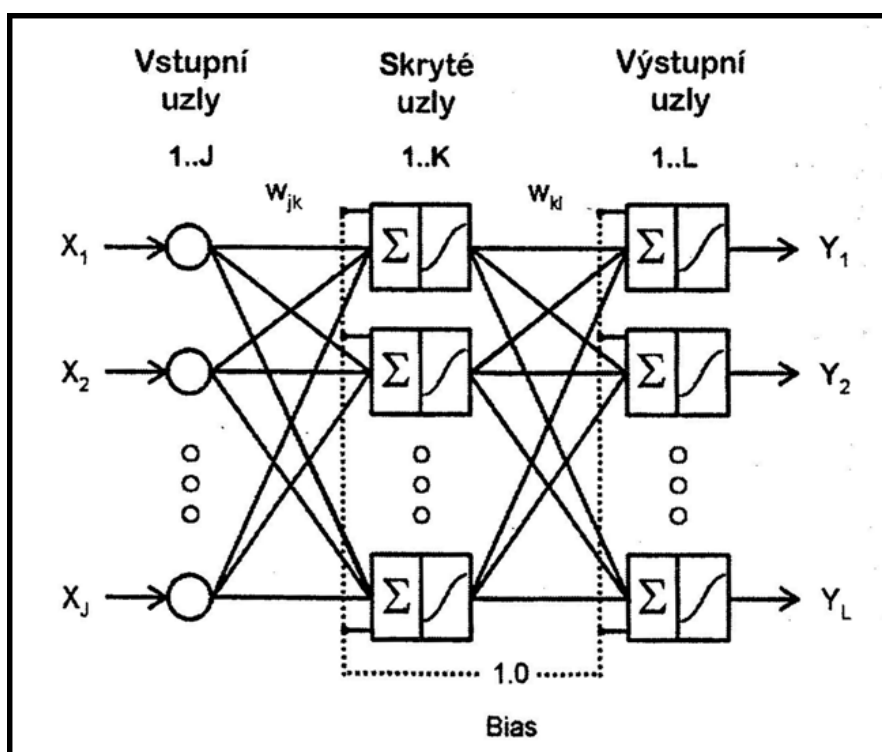
L – empirický koeficient (Rosetta předpovídá jeho hodnotu většinou zápornou)[-],

n – parametr tvaru retenční křivky[-].[6]

Umělá neuronová síť (ANN – Artificial neural net)

Jedná se síť propojených jednoduchých jednotek (neuronů – procesorů), kde každá jednotka využívá malou lokální paměť. Jednotky jsou hierarchicky uspořádané do jednotlivých neuronových vrstev, předávajících si mezi sebou data.

Celá síť se skládá ze vstupních a výstupních jednotek a skrytých jednotek, které se propojují se vstupy a výstupy. Skryté vrstvy sbírají informace na vstupu a používají je k odhadům výstupů.



Obrázek 17: Schéma neuronové sítě

2.1.1.1 Prediktory (vstupní data pro Rosettu)

Objemová hmotnost zeminy

Objemová hmotnost se dá charakterizovat jako hmotnost zeminy v přirozeném stavu ku jejímu objemu. Rozeznáváme dva druhy – objemovou hmotnost neredukovanou a redukovanou. Neredukovaná se stanovuje ihned po odběru (a její velikost je proto přímo závislá na vlhkosti zeminy), redukovaná se počítá z vysušeného vzorku.

V obou případech se vzorky zeminy odebírají pomocí Kopeckého válečků známého objemu. Válečky se v laboratoři zváží (G_A), vzorek se následně při 105 °C vysuší do konstantní hmotnosti a zváží se sušina (G_F). Objemové hmotnosti se vypočítají dle následujících vzorců:

$$\rho_v = \frac{G_A}{V_s} \quad (2.1.2)$$

$$\rho_d = \frac{G_F}{V_s} \quad (2.1.3)$$

kde:

ρ_v – neredukovaná objemová hmotnost [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$],

ρ_d – redukovaná objemová hmotnost [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$],

G_A – hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g],

G_F – hmotnost sušiny [g],

V_s – objem Kopeckého válečku [m^3].

Textura

Jednou z nejdůležitějších veličin, ovlivňujících vlastnosti půdy, je jejich zrnitostní složení. To má vliv nejenom fyzikální a chemické vlastnosti půdy, ale i jejich propustnost, vodní kapacitu apod. Pro třídění a klasifikaci jednotlivých částic byly vytvořeny různé systémy. Ty se od sebe mohou lišit – proto je nutné s údaji o textuře uvádět, dle jaké stupnice byla

zaříděna. Praktické stanovení textury (typu půdy) se provádí pomocí trojúhelníkového diagramu.

Označení zeminy se řídí podle převládající frakce. Proto je nutné provést zrnitostní rozbor, díky kterému získáme procentuální podíl konkrétních frakcí. Před samotným rozbohem probíhá příprava vzorku, kdy se hrudky a agregáty rozmělní a následně peptizují (přeměna hrubé disperze na koloidní) půdní koloidy. Toho se docílí přidáním destilované vody do vzorku a následným vařením nebo roztřepáním. Většinou se přidává i dispergační činidlo (sodná sůl nebo čpavek).

Nejjednodušším způsobem stanovení zrnitostních frakcí je pomocí prosévací zkoušky na sadě normovaných sít. Ty jsou osazena nad sebou a rozdělena od nejhrubšího (horní síto) po nejjemnější (dolní síto) na vibrační třepačce, která pomocí horizontálních pohybů proseje vzorek přes síta. Nejmenší rozměr oka síta je 0,063 mm, avšak jemné částice se začínají zachytávat na sítích průměru 0,1 mm. Proto nelze touto zkouškou s přesností stanovit množství jemné frakce. Z tohoto důvodu se na jemnější zrnitostní frakce používá nepřímých sedimentačních metod (vycházejících ze závislosti sedimentační rychlosti na velikosti částic – čím menší částice, tím menší sedimentační rychlost).

Platí zde Stokesův zákon:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{g \cdot r^2 \cdot (\rho_z - \rho_0)}{\eta} = a \cdot r^2 \quad (2.1.4)$$

kde:

v – sedimentační rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

g – tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

ρ_z – hustota částic [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$],

ρ_0 – hustota disperzního prostředí (voda při konkrétní teplotě) [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$],

η – viskozita disperzního prostředí [$\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$],

a – konstanta pro sedimentaci zemitých částic ve vodě (při teplotě 20 °C) [-],

r – poloměr částice [m].

Casagrandeho hustoměrná zkouška

Metoda neopakové sedimentace, kdy se měří změny hustoty a teploty v sedimentačním válci. Připravená suspenze se nalije do odměrného válce a doplní do objemu 1000 cm³ destilovanou vodou a dispergačním činidlem. Minutu před začátkem sedimentace se suspenze promíchá. Po vyjmutí míchadla začíná měření.

Po začátku sedimentace se do suspenze vloží hustoměr a přečte se hustota na horním menisku. Měření sedimentace probíhá v intervalech 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 15 min, 45 min, 2 hod, 5 hod a 24 hod. Po čtyřech měřeních se hustoměr vyjme z válce a opláchne (odstranění částic usazených na povrchu). Minutu před dalším měřením se hustoměr opět umístí do válce (proces vyjmutí a opláchnutí se opakuje po každém dalším měření).

Při měření hustoty se zároveň měří i teplota suspenze (s přesností na 0,2 °C). Ze začátku po 15 s, při pozdějších intervalech při každém odečítání z hustoměru.

Velikost zrna se vypočítá dle vztahu:

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot H}{g \cdot t \cdot (\rho_z - \rho_0)}} \quad (2.1.5)$$

kde:

η – dynamická viskozita tekutiny [Pa · s],

ρ_0 – měrná hmotnost vody [g · m⁻³],

ρ_z – měrná hmotnost zeminy [g · m⁻³],

H – hloubka hustoměru v suspenzi [m],

g – gravitační zrychlení [m · s⁻²],

t – časový interval [s],

v – usazovací rychlost [m · s⁻¹].

Procentuální zastoupení jednotlivých částic se stanoví podle vzorce:

$$W = \frac{100}{s} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} \cdot (R + c + m) \quad (2.1.6)$$

$$m = 0,0055 \cdot T^2 - 0,0373 \cdot T - 1,44$$

kde:

W – poměrný obsah částic v daném intervalu[-],

s – navážka zeminy k zrnitostní analýze přepočítaná na sušinu[g],

ρ_s – měrná hmotnost zeminy[g · m⁻³],

R – hustoměrné čtení[g · m⁻³],

c – menisková korekce hustoměru[-],

m – teplotní korekce[K],

T – teplota suspenze v daném intervalu[K].

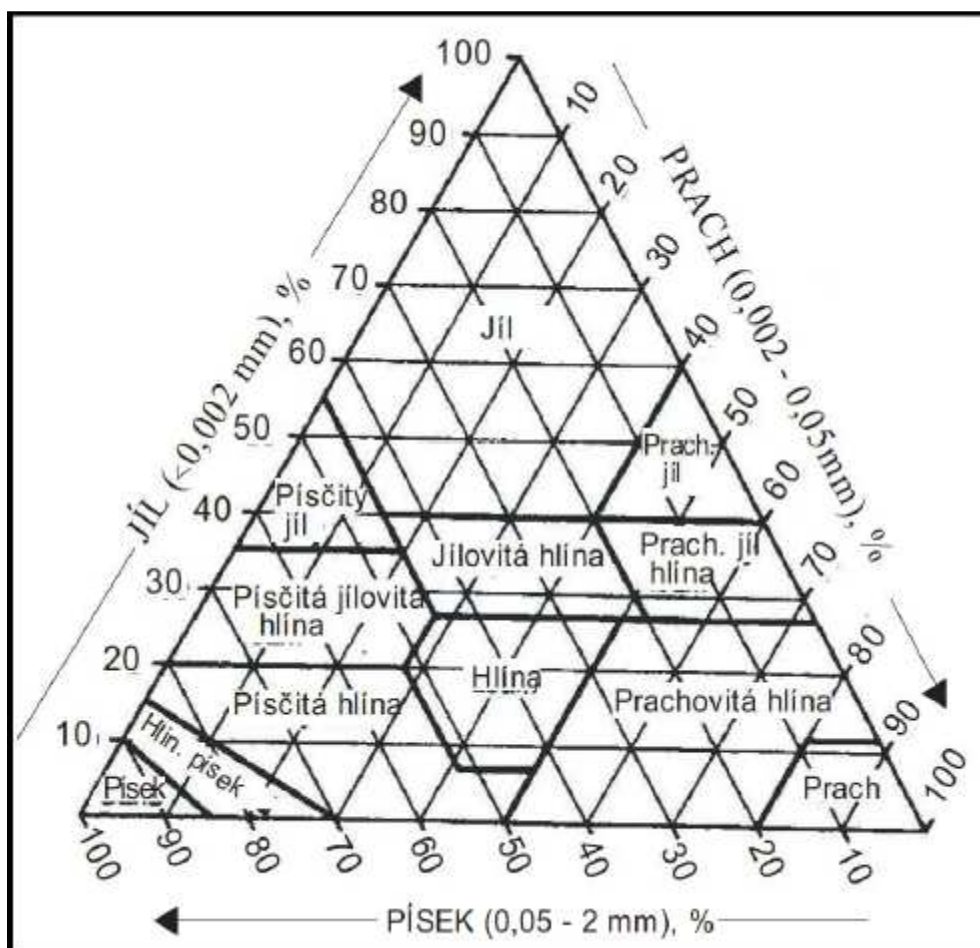
Klasifikace zemin

Výsledek zrnitostního rozboru se může vynést graficky součtovou čarou (čarou zrnitosti – jednoduché odečtení zrnitostních frakcí) nebo číselně. Pro klasifikaci zemin se používají různé stupnice a diagramy.

Pro Rosettu se využívá trojúhelníkového diagramu USDA, kde se zohledňuje zastoupení jílu, prachu a písku. Zrnitostní frakce podle USDA jsou uvedeny v tab.1., trojúhelníkový diagram USDA je uveden v obr.18.

Název frakce	Průměr částic [mm]
Jíl	< 0,002
Prach	0,002 – 0,05
Písek	0,05 – 2,0
Velmi jemný písek	0,05 – 0,1
Jemný písek	0,1 – 0,25
Střední písek	0,25 – 0,5
Hrubý písek	0,5 – 1,0
Velmi hrubý písek	0,1 – 2,0

Tabulka 1: Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA



Obrázek 18: Trojúhelníkový diagram

Hydrolimity

Hydrolimity definují konkrétní vlhkosti půdy, dosažené za předepsaných podmínek.

- Polní vodní kapacita půdy (θ_{PK})

Je to vlhkost půdy na hranici kapilární a gravitační vody. Popisuje maximální množství vody zadržené v půdním profilu, naměřené v polních podmínkách. Obvykle je určována pro tlakovou výšku 3,3 m.

Stanovení polní vodní kapacity podle Váši:

$$\theta_{PK} = \sqrt{(\% I. kategorie + 18) * 20} \quad (2.1.7)$$

- Bod vadnutí (θ_v)

Charakterizuje bod, kdy rostliny využili všechnu dostupnou a fyziologicky využitelnou vodu. Množství půdní vody přijaté kořeny rostliny je mnohem menší než

intenzita transpirace a to vede k vadnutí a následnému úhynu. Určuje se pro tlakovou výšku 150 m.

Výpočet bodu vadnutí podle Solnáře:

$$\theta_v = \frac{\% I.kategorie}{2,4} \quad (2.1.8)$$

Výpočet bodu vadnutí podle Váši:

$$\theta_v = 0,3 \cdot \% I.kategorie + 4 \quad (2.1.9)$$

[6]

B. METODIKA (Praktická část)

1.1 Charakteristika zájmového území

Terénní měření probíhalo na zájmovém území u obce Bohaté Málkovice, která leží v okrese Vyškov a spadá do Jihomoravského kraje. Nadmořská výška obce je 297 m n.m., katastrální výměra činí 4,83 km². Zeměpisné souřadnice obce jsou 49°11'18" zeměpisné šířky a 17°00'30" zeměpisné délky. V obci žije 245 obyvatel (údaj z 1.1.2017).

Zájmové území spadá do geomorfologické oblasti Vyškovského úvalu. Území je převážně mírně svažité s jižní expozicí. Probíhá zde mírná plošná vodní eroze.



Obrázek 19: Mapa zájmové lokality (zdroj: <https://geoportal.gov.cz>)

1.2 Klimatické poměry

Obec Bohaté Málkovice leží v klimatické oblasti teplé, v teplém klimatickém okrsku, mírně suchém, s mírnou zimou (A3). Průběh stratosférických srážek v průběhu roku byl určen na základě pozorování na meteorologické stanici Bučkovice, ležící ve výšce 240 m n.m.

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Roční úhrn
mm	28	25	30	36	59	57	74	77	52	52	45	34	365

Tabulka 2: Srážkové úhrny v zájmové oblasti

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Roční průměr
°C	-2,6	-1,0	3,6	8,6	13,9	16,7	18,6	17,8	14,2	8,7	3,3	-0,5	8,4

Tabulka 3: Průměrné teploty v zájmovém území

Vývoj teplot během roku má normální průběh, minimální teploty v lednu a nejvyšší v červenci. Výraznější teplotní rozdíly jsou v období mezi březnem až květnem a mezi zářím až listopadem.

1.3 Geologicko-litologické poměry

Území je na východní části tvořeno sprašemi, na nich se vytvořily černozemě. Spraše obsahují velké množství prachových částic (až 60 %). Oproti sprašovým hlínám obsahují uhličitán vápenatý. K navátí sprašů došlo ve starších čtvrtohorách.

Dalším půdotvorným substrátem jsou zrnitostně těžké jílové sedimenty mořského neogénu třetihorního stáří. Na tomto substrátu se vytvořily rendziny a v drobném rozsahu i černozemě.

Posledním z půdotvorných substrátů jsou vápenité nivní uloženiny. Ty jsou nejmladším substrátem, vzniklé v mladších čtvrtohorách. Vytvořily se zde nivní půdy glejové – karbonátové, které vyplňují údolí místních toků.

1.4 Hydrologické poměry

Hodnocená oblast patří do povodí Moravy, dílčího povodí Svratky. Hydrologickou síť tvoří několik menších potoků místního významu, které odvádějí přebytečnou srážkovou vodu.

Vlhkostní poměry jsou ovlivněny především konfigurací terénu, zrnitostním složením půdy a vnitřní drenáží půdy v závislosti na půdotvorných substrátech.

Černozemě vytvořené na spraších dobře propouští vodu, mají dobrou kapilární schopnost a příznivý poměr vodních a vzdušných pórů.

Černozemě na jílových sedimentech jsou méně propustné, s velkou schopností kapilarity.

Rendziny mají nižší propustnost pro vodu a bývají převlhčené nadbytečnými srážkami. Mají velkou kapilaritu.

Nivní půdy glejové – karbonátové jsou díky těžší zrnitosti málo propustné. Mohou být lokálně zamokřené podzemní vodou.

1.5 Způsob zpracování půdy

Měření probíhalo na ploše s klasickým i minimalizačním způsobem zpracování půdy. Klasický způsob probíhá v cyklech – příprava půdy pro zasetí a zasazení pěstovaných plodin, zpracování půdy během vegetace, poté následuje orba. Jak moc velký zásah do půdního profilu tento způsob provede, záleží na druhu orby. V tomto případě byla provedena orba do hloubky 22 cm, tj. střední orba.

Při minimalizačním způsobu je zajištěno šetrnější nakypření půdy. Snižuje se hloubka zásahu do půdy a tím je podpořena tvorba a udržení půdní struktury. Na poli se zanechávají zbytky rostlin po sklizni (mulč) a je podporována humifikace díky menším zásahům do půdy, než při použití klasické metody.

Plocha obdělávaná klasicky je od plochy obdělávané minimalizačním způsobem vzdálena zhruba 300 m. Při minimalizačním zpracování se na podzim před setím jařin provádí podzimní podrývání do hloubky 20 cm.

1.6 Vyhodnocení terénního měření

K odhadu nasycené hydraulické vodivosti K_s se použila data z terénního měření infiltrace výtopou, které probíhalo během dvou výjezdů ve dnech 3.6.2011 a 22.6.2011. U obou výjezdů se měřilo na dvou plochách, lišících se způsobem obdělávání (viz. kap. 1.5 Způsob zpracování půdy).

Během prvního výjezdu probíhaly na každé ploše současně dva infiltrační testy. Ve vnitřním válci se sledoval čas potřebný k poklesu hladiny na stabilní úroveň nad povrchem terénu, vnější válec sloužil k zachování svislosti proudnic pod vnitřním válcem během infiltrace. Vlastní měření se prováděla opakovaným přiléváním dávky známého objemu vody (1 litr) nad referenční úroveň, stabilizovanou měrným hrotem (1,5-2 cm).

Při druhém výjezdu se uskutečnila dvě měření infiltrace výtopou na ploše upravené klasickým způsobem a jedno měření na ploše upravené minimalizačním způsobem.

K vyhodnocení infiltrace výtopou se použily fyzikální rovnice Philipa (1.1.9) a tříparametrická rovnice Philipova typu (1.1.11). Výpočet neznámých parametrů A a S , respektive C_1, C_2, C_3 proběhl pomocí inverzních matic. Pro výpočet odhadu nasycené hydraulické vodivosti se použil vztah (1.1.10) a (1.1.13).

Pozn.: Rovnice Philipa: Odhad nasycené hydraulické vodivosti nešlo u některých měření stanovit s ohledem na zápornou hodnotu členu A .

TRPT: Z důvodu záporných hodnot parametrů C_1 a C_3 pod odmocninou, by u některých měření nešlo použít rovnici (1.1.13). Proto byla pro výpočet parametrů využita funkce řešitele v programu MS Excel. Nastavení omezujících podmínek řešitele zahrnovalo i potlačení záporných hodnot parametrů C_1 , C_2 a C_3 .

Zpracovaná data vyhodnocení infiltračních pokusů jsou uvedena v přílohách (6.1 – 6.4, 7.1 – 7.3).

Hodnota nasycené hydraulické vodivosti K_s se stanovila v laboratoři pomocí permeamtru s konstantním spádem. Do permeamtru se vložily neporušené půdní vzorky odebrané z kopaných sond poblíž infiltračních experimentů, při výjezdech ve dnech 3.6.2011 a 22.6.2011. Pro vyhodnocení laboratorního měření se použilo vztahu (1.1.2).

Zpracovaná data laboratorního měření jsou uvedena v příloze (6.5 a 7.4).

Pro zařazení půdní propustnosti se použila klasifikace dle Kutílka – viz. tab.5

Skupina	Půdní propustnost	Němec	Benecke	Engelsmann	Kutílek
		[m · den ⁻¹]			
I	Velmi malá	< 0,12	< 0,06	< 0,01	< 0,03
II	Malá	0,12 – 0,24	0,06 – 0,16	0,01 – 0,06	0,03 – 0,15
III	Mírná	0,24 – 0,45	0,16 – 0,40	0,06 – 0,16	0,15 – 0,50
IV	Střední	0,45 – 1,10	0,40 – 1,00	0,16 – 0,40	0,50 – 2,00
V	Velká	1,10 – 2,30	< 1,00	0,40 – 1,00	2,00 – 6,00
VI	Značně velká	2,30 – 5,50	-	1,00 – 2,50	< 6,00
VII	Velmi velká	< 5,50	-	< 2,50	-

Tabulka 4: Klasifikace půdní propustnosti podle různých autorů

Terénní měření infiltrace pomocí minidiskových infiltrometrů sloužila jako vstupní měření pro stanovení hodnot nenasycených hydraulických vodivostí $K(h)$. Infiltrace minidiskovým infiltrometrem se měřila ve třech výjezdech - ve dnech 3.6.2011, 22.6.2011 a 20.7.2011. Celkem bylo provedeno 9 infiltračních pokusů.

Pro výpočet $K(h)$ bylo využito vztahu (1.1.16). Zpracovaná data z terénního měření minidiskovými infiltrometry jsou uvedena v přílohách (6.6 – 6.9, 7.5 – 7.7, 8.1 a 8.2).

C. VÝSLEDKY

Finální výsledky z jednotlivých měření jsou prezentovány ve formě tabulky, jsou zde uvedeny průměrné hodnoty hydraulické vodivosti K_s a $K(h)$ ze sledované lokality z jednotlivých výjezdů (viz tab.5).

Dvouúčelová metoda - odhad nasycené hydraulické vodivosti K_s							
Datum	Metoda	Způsob zpracování půdy					
		Klasický		Kl. průměr	Minimalizační		Min. průměr
03.06.2011	Philip	3,6984	4,6708	4,1846	2,9253	*	2,9253
	TRPT	2,4656	3,0165	2,7411	2,2877	1,2407	1,7642
22.06.2011	Philip	*	3,0278	3,0278	5,2554	-	5,2554
	TRPT	1,5016	1,9468	1,7242	3,4097	-	3,4097
Minidiskový infiltrometr - nenasyčená hydraulická vodivost $K(h)$							
Datum	Způsob zpracování půdy						
	Klasický		Kl. prům.	Minimalizační		Min. prům.	
03.06.2011	0,1062	0,0411	0,0737	0,2450	0,1004	0,1727	
22.06.2011	0,0905	0,0963	0,0934	0,0024	-	0,0024	
20.07.2011	-	-	-	0,0620	0,1581	0,1100	
Stanovení nasycené hydraulické vodivosti K_s v laboratoři							
Datum	Způsob zpracování půdy						
	Klasický průměr			Minimalizační průměr			
03.06.2011	1,4236			0,9920			
22.06.2011	1,0639			1,9900			

Tabulka 5: Výsledky stanovení hydraulické vodivosti

Jak je z výsledků vyhodnocení infiltrace výtopou patrné, byly hodnoty odhadů hydraulických vodivostí pomocí rovnice Philipa ve všech případech vyšší, než při použití TRPT. Na ploše s klasickým způsobem se hodnoty hydraulických vodivostí mezi výjezdy snižovaly, naopak hodnoty na plochách s minimalizačním způsobem měly rostoucí tendenci.

Philip: U klasického způsobu zpracování půdy se hodnoty odhadu hydraulické vodivosti v průběhu vegetačního období se pohybují v rozmezí 4,18 - 3,02 m·den⁻¹, půdní propustnosti podle Kutílka je velká. U minimalizačního způsobu se pohybují v intervalu od 2,92 do 5,26 m·den⁻¹ a půdní propustnost je klasifikovaná jako velká.

TRPT: Na ploše zpracované klasickým způsobem se hodnoty odhadu hydraulické vodivosti pohybují od 2,74 do 1,72 m·den⁻¹, za začátku byla velká propustnost půdy a na konci střední. Opakem je minimalizační zpracování, u kterého se hodnoty pohybují mezi 1,76 – 3,41 m·den⁻¹.

Je však nutno si uvědomit, že měření může být ovlivněno různými faktory, jako například klimatickými poměry, vlivem vzduchu uzavřeného v pórech na počátku experimentu, heterogenitou půdního profilu nebo preferenčními cestami. [4]

Srovnáním laboratorně naměřených hodnot hydraulických vodivostí K_s byl prokázán stejný trend, jako u měření infiltrace výtopou – u klasického způsobu hodnota hydraulické vodivosti mezi výjezdy klesá ($1,42 - 1,06 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$), u minimalizačního způsobu naopak roste ($0,99 - 1,99 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$). V obou případech byla půda klasifikována podle Kutílka jako středně propustná – skupina IV.

Hodnoty nenasyčené hydraulické vodivosti $K(h)$ stanovené z hodnot naměřených minidiskovým infiltrometrem jsou velmi nízké. U plochy s klasickým způsobem zpracování se pohybují mezi $0,07 - 0,09 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$ a v průběhu měřeného období se výrazně neliší. U minimalizačního způsobu se pohybují v intervalu $0,002 - 0,17 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$ a zde je patrný rozdíl během vegetačního období (rozdíl mezi prvním a druhým výjezdem je o dva řády, u třetího výjezdu se hodnoty opět srovnávají). Jednou z hlavních příčin je měření plochy o velmi malém rozsahu.

D. ZÁVĚR

V červnu a červenci roku 2011 proběhlo na experimentálních plochách v blízkosti obce Bohaté Málkovice terénní měření infiltrace výtopou a minidiskovými infiltrometry. Spolu s měřením byly zároveň odebrány neporušené půdní vzorky pro laboratorní měření nasycené hydraulické vodivosti. Celkem bylo provedeno 7 infiltračních pokusů pomocí dvouválcové metody a 9 pokusů minidiskovým infiltrometrem. Pro laboratorní měření se použilo celkem 36 neporušených půdních vzorků.

Pro vyhodnocení infiltrace výtopou se použily rovnice Philipa a tříparametrická rovnice Philipova typu. Vypočítané hodnoty parametrů fyzikálně odvozených rovnic A , C_1 , C_2 a C_3 , sloužily k odhadu nasycené hydraulické vodivosti K_s a následné klasifikaci půdní propustnosti. K hodnotám hydraulické vodivosti stanovené v laboratorních podmínkách se více blížil odhad K_s obdržení z tříparametrické rovnice Philipova typu, nicméně odhad K_s dle rovnice Philipa poskytl řádově stejné výsledky. Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že ve sledovaném období u obou ploch je propustnost půdy vysoká.

Laboratorním měřením se stanovila hodnota hydraulické vodivosti pomocí Darcyho vztahu. Hodnoty hydraulických vodivostí K_s při klasickém způsobu zpracování klesají a u minimalizačního způsobu naopak stoupají, podobně jako u výtopové metody. Hodnoty laboratorně určené hydraulické vodivosti K_s a hodnoty odhadu z fyzikálně odvozených rovnic se pohybují ve stejných řádech, ale klasifikujeme-li propustnost půdy, tak spadá do střední kategorie. Je všeobecně známo, že každá metoda poskytne jiné výsledky, což je patrné i v tomto případě.

Hodnoty nenasyčených hydraulických vodivostí $K(h)$, měřené v terénu pomocí minidiskových infiltrometrů a vyhodnocené podle Zhanga, jsou velmi nízké. U klasického způsobu zpracování se od sebe hodnoty $K(h)$ výrazně nelišily, u minimalizačního způsobu se vyhodnocení řádově změnilo mezi prvním a druhým výjezdem, u třetího se hodnoty začaly opět stabilizovat. Z odborné literatury je patrné, že z hlediska dlouhodobého použití klasické orby (3 roky) se hodnoty hydraulické vodivosti výrazně nezmění. U minimalizačního způsobu jsou hodnoty hydraulické vodivosti výrazně nižší (poklesl přibližně třikrát).[10]

Z delšího výzkumu je tedy patrné, že je klasický způsob zpracování podává lepší výsledky.

V práci jsou hodnoceny výsledky jednoletého výzkumu, pro ověření dosažených výsledků by bylo třeba sledovat danou problematiku delší dobu.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Kutílek, M., Kuráž, V., Císlerová, M.: *Hydropedologie 10*. ČVUT Praha 1993, 176 s.
- [2] Kameníčková, I.: *Vodní hospodářství krajiny I, modul M01*. Skriptum.VUT Brno 2005, 138 s.
- [3] Vališ, S., Šálek, J.: *Hydropedologické praktikum*. VUT Brno 1971, 189 s.
- [4] Krejča, M., Kutílek, M.: *časopis Vodní hospodářství č.5*. 1988, s 123-129.
- [5] Salač, J., bakalářská práce "*Infiltrace –elementární hydrologický proces*", Brno 2016, 70s.
- [6] Kameníčková, I.: *Hydropedologie – návody do cvičení (VHK)*. Skriptum.VUT Brno 2013, 69 s.
- [7] DecagonDevices, Inc.:*Minidiskinfiltrometer, User'smanual*. DecagonDevices, Inc. 2014, 24 s.
- [8] KODEŠOVÁ, R. *Modelování v pedologii*. 1. vyd. V Praze, 2005, 150 s.
- [9] MATULA, S *Předpovědní půdně-agrohydrologické modely retence vody v půdě v ČR ajejich integrace do databází zemí EU*, redakčně upravená závěrečná zpráva,Praha: Česká zemědělská univerzita, 2010, 84 s
- [10] ŠINDELÁŘ, R. a kol., *Měření infiltrace vody do půdy pomocí kruhového infiltrometru mini disk*, přístupné z: www.vuzt.cz, 6 s.

Internetové zdroje:

<http://hydropedologie.agrobiologie.cz/index.html>

<http://www.ekotechnika.cz/>

<http://www.ums-muc.de/assets-ums/00DZ5.pdf>

E. SEZNAM SYMBOLŮ A CHARAKTERISTIK

θ	– vlhkost půdy [-]
h_w	– vlhkostní potenciál [m]
h_v	– vstupní hodnota vzduchu [m]
ρ_m	– objemová hmotnost [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]
K_s	– nasycená hydraulická vodivost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
$K(h)$	– nenasyčená hydraulická vodivost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
q	– ustálený průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
V	– objem [m^3]
S	– plocha [m^2]
l	– výška [m]
H	– rozdíl hladin [m]
v	– rychlost poklesu hladiny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
h_1	– úroveň hladiny na začátku měření [m]
h_2	– úroveň hladiny na konci měření [m]
t	– čas [s]
H^*	– ustálená hladina vody [m]
C	– bezrozměrný tvarový součinitel [-]
r	– poloměr sondy [m]
K_{fs}	– hydraulická vodivost při terénním nasycení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
Q	– stacionární hodnota výtoku z permeamtru [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
S	– sorptivita [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$]
A	– parametr s rozměrem rychlosti [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
m	– konstanta [-]
C_1	– odhad sorptivity [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
C_2	– parametr vyrovnávacího procesu [-]
C_3	– parametr vyrovnávacího procesu [-]
i	– infiltrace [m]
h_i	– obecná tlaková výška [m]
θ_i	– obecná vlhkost [-]
θ_e	– objemová vlhkost [-]
θ_s	– nasycená vlhkost [-]
θ_r	– residuální vlhkost [-]
h	– tlaková výška [m]

H_b	– tlak probublávání vzduchu [m]
λ	– empirický koeficient[-]
α	– empirický koeficient[m ⁻¹]
n	– empirický koeficient[-]
m^*	– empirický koeficient[-]
r^*	– poloměr kapilár [m]
$\mu(\Omega)$	– velikost plochy, kterou zaujímá oblast Ω [-]
i	– hydraulický sklon[-]
θ_e^*	– efektivní vlhkost [-]
n^*	– pórovitost [-]
h_c	– kapilární výška [m]
x	– konstanta [-]
c^*	– konstanta [-]
S_e	– relativní nasycení[-]
K_0	– bod nasycení[m · s ⁻¹]
L	– empirický koeficient využívaný programem Rosetta[-]
n	– parametr tvaru retenční křivky [-]
ρ_v	– neredukovaná objemová hmotnost[g · m ⁻³]
ρ_d	– redukováná objemová hmotnost[g · m ⁻³]
G_A	– hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí[g]
G_F	– hmotnost sušiny [g]
V_s	– objem Kopeckého válečku[m ³]
v^*	– sedimentační rychlost částic [m · s ⁻¹]
g	– tíhové zrychlení [m · s ⁻²]
ρ_z	– hustota částic [g · m ⁻³]
ρ_0	– hustota disperzního prostředí [g · m ⁻³]
η	– viskozita disperzního prostředí[g · m ⁻¹ · s ⁻¹]
D	– velikost zrna zeminy [m]
W	– poměrný obsah částic v daném intervalu [-]
T	– teplota [K]
θ_{30}	– vlhkost 30' [-]
θ_{MKK}	– maximální vodní kapacita [-]
θ_v	– bod vadnutí [-]

F. SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A PŘÍLOH**Tabulky:**

<i>Tabulka 1: Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 2: Srážkové úhrny v zájmové oblasti</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 3: Průměrné teploty v zájmovém území</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 4: Klasifikace půdní propustnosti podle různých autorů</i>	<i>51</i>

Obrázky:

<i>Obrázek 1: Retenční čára půdní vlhkosti: a) lineární měřítko, b) semilogaritmické měřítko .</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 2: Pískový tank.....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3: Přetlakový přístroj.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 4: Tempská cela</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 5: TDR senzor</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 6: Schéma umístění TDR čidel a tenzometrů</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 7: Permeametr s konstantním spádem</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 8: Schéma jednosondové metody</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 9: Dvouválcový infiltrometr.....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 10: Guelphský permeametr.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 11: Schéma crust metody</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 12: Schéma evaporační metody</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 13: Schéma minidiskového infiltrometru</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 14: Retenční čára a) podle Brooks-Coreye, b) podle Van Genuchtena</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 15: Schéma hysterezní smyčky retenční čáry.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 16: Model rovnoběžných kapilár</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 17: Schéma neuronové sítě</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 18: Trojúhelníkový diagram</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 19: Mapa zájmové lokality.....</i>	<i>48</i>

Přílohy:

<i>Tabulka 6.1: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 6.2: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 2.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 6.3: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 3.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka 6.4: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 4.....</i>	<i>67</i>

Tabulka 6.5: Laboratorní měření na permeamtru s konstantním spádem, vzorky z 1.

výjezdu..... 69

*Tabulka 6.6: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd, měření 1..... 69**Tabulka 6.7: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd, měření 2..... 69**Tabulka 6.8: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd, měření 3..... 71**Tabulka 6.9: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd, měření 4..... 71**Tabulka 7.1: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 2. výjezd, měření 1..... 72**Tabulka 7.2: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 2. výjezd, měření 2..... 74**Tabulka 7.3: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 2. výjezd, měření 3..... 76**Tabulka 7.4: Laboratorní měření na permeamtru s konstantním spádem, vzorky z 1.*

výjezdu..... 78

*Tabulka 7.5: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 2. výjezd, měření 1..... 78**Tabulka 7.6: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 2. výjezd, měření 2..... 78**Tabulka 7.7: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 2. výjezd, měření 3..... 79**Tabulka 8.1: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 3. výjezd, měření 1..... 80**Tabulka 8.2: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 3. výjezd, měření 2..... 80*

PŘÍLOHY*Tabulka 6.1: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 1*

KLASICKÝ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ PŮDY

Plodina:

Kukuřice

GPS : 49°12,469N 17°1,046E

Lokalita:	Bohaté Málkovice		Označení válce:	4,VUT
Datum:	03.06.2011		Vnitřní válec: Průměr:	26,29 cm
Technologie zpracování:	Klasický způsob, bez aplikace PRP SOL		Plocha:	542,46 cm ²
			Výška hrotu nad povrchem h:	1 cm
Vlhkost:	10 cm	%obj.	Obj. válce po úroveň h:	1 l
	20 cm	%obj.	Vnější válec: Průměr:	35,70 cm
			Plocha:	1000,47 cm ²

Změřeno				Vypočteno		Philip		TRPT		
Čas				Dodáno	Vsáklo V	Kumulativní Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t
h	m	s	min	l	l	cm	cm·min ⁻¹	cm	cm·min ⁻¹	cm
0	:	00	:	00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00
0	:	00	:	21	0,35	1,00	0,46	0,85	1,962	1,314
0	:	01	:	45	1,75	1,00	1,46	2,69	0,972	3,103
0	:	04	:	04	4,07	1,00	2,46	4,53	0,697	4,970
0	:	06	:	51	6,85	1,00	3,46	6,38	0,576	6,719
0	:	10	:	07	10,12	1,00	4,46	8,22	0,504	8,473
0	:	13	:	46	13,77	1,00	5,46	10,07	0,457	10,220
0	:	17	:	56	17,93	1,00	6,46	11,91	0,421	12,045
0	:	22	:	03	22,05	1,00	7,46	13,75	0,397	13,727
0	:	26	:	21	26,35	1,00	8,46	15,60	0,378	15,390
0	:	30	:	27	30,45	1,00	9,46	17,44	0,363	16,908
0	:	35	:	56	35,93	1,00	10,46	19,28	0,348	18,856
0	:	41	:	46	41,77	1,00	11,46	21,13	0,335	20,847
0	:	47	:	56	47,93	1,00	12,46	22,97	0,324	22,879
0	:	54	:	00	54,00	1,00	13,46	24,81	0,315	24,819
1	:	00	:	23	60,38	1,00	14,46	26,66	0,308	26,807
1	:	06	:	30	66,50	1,00	15,46	28,50	0,301	28,668
1	:	12	:	18	72,30	1,00	16,46	30,34	0,296	30,399
1	:	18	:	34	78,57	1,00	17,46	32,19	0,291	32,236
1	:	24	:	57	84,95	1,00	18,46	34,03	0,286	34,078
1	:	30	:	41	90,68	1,00	19,46	35,87	0,282	35,708
1	:	37	:	12	97,20	1,00	20,46	37,72	0,279	37,536
1	:	45	:	17	105,28	1,00	21,46	39,56	0,274	39,771
1	:	51	:	53	111,88	0,00	22,46	41,40	0,271	41,573
1	:	54	:	57	114,95	0,00	23,00	42,40	0,270	42,403

Tříparametrická rovnice Philipova typu

$$i_t = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2}$$

$$v_t = 1/2 \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + 3/2 \cdot C_3 \cdot t^{1/2}$$

Neznámé parametry C_1 , C_2 , C_3 vypočteny pomocí 3 rovnic o 3 neznámých

$$C_1 \sum t_i + C_2 \sum t_i^{3/2} + C_3 \sum t_i^2 = \sum I_i \cdot t_i^{1/2}$$

$$C_1 \sum t_i^{3/2} + C_2 \sum t_i^2 + C_3 \sum t_i^{5/2} = \sum I_i \cdot t_i$$

; pro \sum od
i=1, do m

$$C_1 \sum t_i^2 + C_2 \sum t_i^{5/2} + C_3 \sum t_i^3 = \sum I_i \cdot t_i^{3/2}$$

Pro výpočet využito součinu inverzních matic:

LS	PS
0,11867127 -0,031550793 0,001972749	1,9116656
-0,0315508 0,008859517 -0,000573894	0,2315924
0,00197275 -0,000573894 3,80964E-05	-0,004007

Výpočet pomocí řešitele v programu MS Excel:

LS	PS	Výpočet PS	Koef. C_i
1196,02 10232,35 92209,29	4286,60	4286,60	2,1191803
10232,35 92209,29 859202,40	37472,64	37472,64	0,1712241
92209,29 859202,40 8194617,14	342419,09	342524,28	0
Suma		2,2904044	

$$C_1 = 2,1192 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{odhad sorptivity}$$

$$C_2 = 0,1712 \quad \text{parametr vyrovnávacího procesu}$$

$$C_3 = 0,0000 \quad \text{parametr vyrovnávacího procesu}$$

$$K = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2$$

$$K = 0,17122 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 2,46563 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Philip

$$i_t = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v_t = 1/2 \cdot S \cdot t^{-1/2} + A$$

$$S \sum t + A \sum t^{3/2} = \sum I \cdot t^{1/2}$$

$$S \sum t^{3/2} + A \sum t^2 = \sum I \cdot t$$

LS	PS
1196,02 10232,35	4286,60
10232,35 92209,29	37472,64

Inverzní matice:

LS	PS	
0,01651621 -0,001832783	2,119180299	=> S
-0,0018328 0,000214226	0,171224111	=> A

$$K = A/m \quad m = 0,6667$$

$$K = 0,256836423 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 3,69844 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 6.2: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 2

KLASICKÝ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ PŮDY

Plodina:

Kukuřice

GPS : 49°12,47N 17°1,47E

Lokalita:	Bohaté Málkovice		Označení válce:	Nový, VUT
Datum:	03.06.2011		Vnitřní válec: Průměr:	32 cm
Technologie zpracování:	Klasický způsob, bez aplikace PRP SOL		Plocha:	806,45 cm ²
			Výška hrotu nad povrchem h:	1,5 cm
Vlhkost:	10 cm	%obj.	Obj. válce po úroveň h:	1,5 l
	20 cm	%obj.	Vnější válec: Průměr:	cm
			Plocha:	cm ²

Změřeno				Vypočteno		Philip		TRPT	
Čas		Dodáno	Vsáкло V	Kumulativní Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	
h	m	s	min	l	cm	cm·min ⁻¹	cm	cm·min ⁻¹	cm
0	: 00	: 00	0,00	2,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00
0	: 00	: 28	0,47	1,00	0,79	2,605	2,331	2,639	2,365
0	: 01	: 04	1,07	1,00	1,79	1,797	3,602	1,817	3,652
0	: 01	: 31	1,52	1,00	2,79	1,542	4,348	1,557	4,406
0	: 02	: 34	2,57	1,00	3,79	1,235	5,785	1,245	5,856
0	: 03	: 28	3,47	1,00	4,79	1,093	6,827	1,101	6,907
0	: 04	: 38	4,63	1,00	5,79	0,974	8,028	0,981	8,116
0	: 05	: 52	5,87	1,00	6,79	0,890	9,175	0,895	9,269
0	: 07	: 16	7,27	1,00	7,79	0,822	10,371	0,825	10,471
0	: 08	: 40	8,67	1,00	8,79	0,771	11,484	0,773	11,588
0	: 10	: 09	10,15	1,00	9,79	0,729	12,594	0,730	12,702
0	: 11	: 42	11,70	1,00	10,79	0,693	13,695	0,695	13,805
0	: 13	: 21	13,35	1,00	11,79	0,663	14,813	0,664	14,925
0	: 15	: 11	15,18	1,00	12,79	0,635	16,002	0,635	16,115
0	: 16	: 58	16,97	1,00	13,79	0,612	17,114	0,612	17,227
0	: 19	: 00	19,00	1,00	14,79	0,591	18,337	0,590	18,450
0	: 21	: 12	21,20	1,00	15,79	0,571	19,614	0,570	19,725
0	: 23	: 19	23,32	1,00	16,79	0,554	20,804	0,553	20,913
0	: 25	: 33	25,55	1,00	17,79	0,539	22,024	0,538	22,131
0	: 27	: 53	27,88	1,00	18,79	0,525	23,266	0,524	23,370
0	: 30	: 23	30,38	1,00	19,79	0,512	24,563	0,511	24,662
0	: 32	: 43	32,72	1,00	20,79	0,502	25,745	0,500	25,841
0	: 35	: 17	35,28	1,00	21,79	0,491	27,019	0,489	27,109
0	: 37	: 48	37,80	1,00	22,79	0,482	28,243	0,479	28,327
0	: 40	: 10	40,17	1,00	23,79	0,474	29,373	0,471	29,452
0	: 42	: 41	42,68	1,00	24,79	0,466	30,556	0,464	30,629
0	: 45	: 13	45,22	1,00	25,79	0,459	31,727	0,456	31,794
0	: 47	: 39	47,65	1,00	26,79	0,453	32,836	0,450	32,896
0	: 50	: 11	50,18	1,00	27,79	0,447	33,975	0,444	34,028

Tabulka 6.2 - pokračování

Změřeno				Vypočteno			Philip		TRPT			
Čas				Dodáno	Vsáklo V	Kumulativní Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t		
h	m	s	min	l	l	cm	cm·min ⁻¹	cm	cm·min ⁻¹	cm		
0	:	52	:	58	52,97	1,00	28,79	35,70	0,440	35,210	0,438	35,254
0	:	55	:	37	55,62	1,00	29,79	36,94	0,435	36,370	0,432	36,406
0	:	58	:	31	58,52	1,00	30,79	38,18	0,430	37,623	0,426	37,651
1	:	01	:	29	61,48	1,00	31,79	39,42	0,424	38,890	0,421	38,908
1	:	04	:	20	64,33	1,00	32,79	40,66	0,420	40,093	0,416	40,102
1	:	07	:	23	67,38	1,00	33,79	41,90	0,415	41,366	0,412	41,365
1	:	10	:	19	70,32	1,00	34,79	43,14	0,411	42,577	0,407	42,566
1	:	13	:	27	73,45	1,00	35,79	44,38	0,407	43,858	0,403	43,836
1	:	16	:	31	76,52	1,00	36,79	45,62	0,403	45,099	0,399	45,066
1	:	19	:	41	79,68	1,00	37,79	46,86	0,399	46,369	0,395	46,324
1	:	22	:	55	82,92	1,00	38,79	48,10	0,395	47,653	0,392	47,596
1	:	26	:	08	86,13	1,00	39,79	49,34	0,392	48,920	0,388	48,851
1	:	29	:	16	89,27	1,00	40,79	50,58	0,389	50,143	0,385	50,063
1	:	32	:	51	92,85	1,00	41,79	51,82	0,386	51,531	0,382	51,437
1	:	39	:	19	99,32	1,00	42,79	53,06	0,380	54,006	0,376	53,886
1	:	42	:	42	102,70	1,00	43,79	54,30	0,377	55,287	0,373	55,154
1	:	46	:	06	106,10	1,00	44,79	55,54	0,375	56,566	0,371	56,419
1	:	49	:	30	109,50	0,00	45,79	56,78	0,372	57,835	0,368	57,674
1	:	53	:	04	113,07	0,00	47,00	58,28	0,370	59,159	0,366	58,983

Tříparametrická rovnice Philipova typu

$$i_t = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2}$$

$$v_t = 1/2 \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + 3/2 \cdot C_3 \cdot t^{1/2}$$

Neznámé parametry C_1 , C_2 , C_3 vypočteny pomocí 3 rovnic o 3 neznámých

$$\begin{aligned} C_1 \sum t_i + C_2 \sum t_i^{3/2} + C_3 \sum t_i^2 &= \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \\ C_1 \sum t_i^{3/2} + C_2 \sum t_i^2 + C_3 \sum t_i^{5/2} &= \sum I_i \cdot t_i \\ C_1 \sum t_i^2 + C_2 \sum t_i^{5/2} + C_3 \sum t_i^3 &= \sum I_i \cdot t_i^{3/2} \end{aligned} \quad ; \text{ pro } \sum \text{ od } i=1, \text{ do } m$$

Pro výpočet využito součinu inverzních matic:

LS	PS
0,05872639 -0,016015339 0,001027648	2,4285558
-0,0160153 0,004623439 -0,000307992	0,4666883
0,00102765 -0,000307992 2,10705E-05	-0,017134

Výpočet pomocí řešitele v programu MS Excel:

LS			PS	Výpočet PS	Koef. C_i
2124,02	17384,12	150515,28	10692,34	10692,343	3,3195043
17384,12	150515,28	1352259,48	89292,54	89236,907	0,209482
150515,28	1352259,48	12472826,08	782910,21	782910,21	0
			Suma	3,5289863	

$C_1 =$	3,3195	$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	odhad sorptivity
$C_2 =$	0,2095		parametr vyrovnávacího procesu
$C_3 =$	0,0000		parametr vyrovnávacího procesu

$$K = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2$$

$$K = 0,20948 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 3,01654 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Philip

$$i_t = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v_t = 1/2 \cdot S \cdot t^{-1/2} + A$$

$$S \sum t + A \sum t^{3/2} = \sum I \cdot t^{1/2}$$

$$S \sum t^{3/2} + A \sum t^2 = \sum I \cdot t$$

LS		PS
2124,02	17384,12	10692,34
17384,12	150515,28	89292,54

Inverzní matice:

LS		PS	
0,0086061	-0,000993982	3,264208037	=> S
-0,000994	0,000121446	0,216238217	=> A

$$K = A/m \quad m = 0,6667$$

$$K = 0,324357651 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 4,67075 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 6.3: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 3
 MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ PŮDY Plodina: Kukuřice

Lokalita:	Bohaté Málkovice		Označení válce:	3,VUT
Datum:	03.06.2011		Vnitřní válec: Průměr:	25,4 cm
Technologie zpracování:	Minimal. způsob, bez aplikace PRP SOL		Plocha:	506,45 cm ²
			Výška hrotu nad povrchem h:	1 cm
Vlhkost:	10 cm	%obj.	Obj. válce po úroveň h:	1 l
	20 cm	%obj.	Vnější válec: Průměr:	35,20 cm
	30 cm	%obj.	Plocha:	972,65 cm ²

Změřeno				Vypočteno		Philip		TRPT		
Čas		Dodáno	Vsáklo V	Kumulativní Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t		
h	m	s	min	l	cm	cm·min ⁻¹	cm	cm·min ⁻¹	cm	
0	00	00	0,00	2,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	
0	06	22	6,37	1,00	1,49	0,295	2,889	0,294	2,899	
0	14	13	14,22	1,00	2,49	0,242	4,954	0,241	4,959	
0	22	55	22,92	1,00	3,49	0,219	6,949	0,219	6,949	
0	31	45	31,75	1,00	4,49	0,207	8,826	0,206	8,822	
0	41	25	41,42	1,00	5,49	0,198	10,779	0,198	10,773	
0	52	12	52,20	1,00	6,49	0,191	12,873	0,191	12,867	
1	02	05	62,08	1,00	7,49	0,186	14,737	0,187	14,734	
1	14	16	74,27	0,00	8,49	0,182	16,981	0,183	16,984	
1	17	39	77,65	0,00	9	17,77	0,181	17,595	0,182	17,601

Tříparametrická rovnice Philipova typu

$$i_t = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2}$$

$$v_t = 1/2 \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + 3/2 \cdot C_3 \cdot t^{1/2}$$

Neznámé parametry C_1 , C_2 , C_3 vypočteny pomocí 3 rovnic o 3 neznámých

$$C_1 \sum t_i + C_2 \sum t_i^{3/2} + C_3 \sum t_i^2 = \sum I_i \cdot t_i^{1/2}$$

$$C_1 \sum t_i^{3/2} + C_2 \sum t_i^2 + C_3 \sum t_i^{5/2} = \sum I_i \cdot t_i$$

$$C_1 \sum t_i^2 + C_2 \sum t_i^{5/2} + C_3 \sum t_i^3 = \sum I_i \cdot t_i^{3/2}$$

; pro \sum od
i=1, do m

Pro výpočet využito součinu inverzních matic:

LS	PS
0,60245109 -0,187494426 0,013796243	0,815357
-0,1874944 0,060656104 -0,004579381	0,1314259
0,01379624 -0,004579381 0,000352092	0,0003079

Výpočet pomocí řešitele v programu MS Excel:

LS			PS	Výpočet PS	Koef. C_i
382,87	2815,39	21615,47	688,84	688,84268	0,8147544
2815,39	21615,47	170817,67	5188,97	5188,9746	0,1316134
21615,47	170817,67	1377556,31	40498,31	40498,311	0,0002941
			Suma		0,9466619

$C_1 =$	0,8154	$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	odhad sorptivity
$C_2 =$	0,1314		parametr vyrovnávacího procesu
$C_3 =$	0,0003		parametr vyrovnávacího procesu

$$K = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2$$

$$K = 0,15887 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 2,28771 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Philip

$$i_t = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v_t = 1/2 \cdot S \cdot t^{-1/2} + A$$

$$S \sum t + A \sum t^{3/2} = \sum I \cdot t^{1/2}$$

$$S \sum t^{3/2} + A \sum t^2 = \sum I \cdot t$$

LS		PS
382,87	2815,39	688,84
2815,39	21615,47	5188,97

Inverzní matice:

LS		PS	
0,06186475	-0,008057825	0,803293022	=> S
-0,0080578	0,001095787	0,135430275	=> A

$$K = A/m \quad m = 0,6667$$

$$K = 0,203145615 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 2,92530 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 6.4: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 1. výjezd, měření 4
 MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ PŮDY Plodina: Kukuřice

Lokalita:	Bohaté Málkovice		Označení válce:	Nový, VUT
Datum:	03.06.2011		Vnitřní válec: Průměr:	32 cm
Technologie zpracování:	Minimal. způsob, bez aplikace PRP SOL		Plocha:	806,45 cm ²
			Výška hrotu nad povrchem h:	1 cm
Vlhkost:	10 cm	%obj.	Obj. válce po úroveň h:	1 l
	20 cm	%obj.	Vnější válec: Průměr:	cm
	30 cm	%obj.	Plocha:	cm ²

Změřeno				Vypočteno				TRPT	
Čas				Dodáno	Vsáklo V	Kumulativní Infiltrace i_t	Philip		kumul. Infiltrace i_t
h	m	s	min				rychlost infiltrace v_t		
				l	l	cm	cm·min ⁻¹	cm	cm·min ⁻¹
0	: 00	: 00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0
0	: 00	: 40	0,67	1,00	1,19	1,48	1,172	1,593	1,249
0	01	49	1,82	1,00	2,19	2,72	0,693	2,598	0,711
0	03	41	3,68	1,00	3,19	3,96	0,473	3,650	0,469
0	07	08	7,13	1,00	4,19	5,20	0,328	4,990	0,312
0	: 12	: 06	12,10	1,00	5,19	6,44	0,241	6,374	0,223
0	: 18	: 08	18,13	1,00	6,19	7,68	0,189	7,655	0,173
0	: 25	: 39	25,65	1,00	7,19	8,92	0,152	8,923	0,140
0	: 35	: 40	35,67	1,00	8,19	10,16	0,122	10,280	0,116
0	: 49	: 14	49,23	1,00	9,19	11,40	0,097	11,752	0,100
1	: 01	: 00	61,00	1,00	10,19	12,64	0,083	12,805	0,093
1	: 17	: 00	77,00	0,00	11,19	13,88	0,069	14,010	0,088
1	: 23	: 00	83,00	0,00	12	14,88	0,065	14,410	0,087

Tříparametrická rovnice Philipova typu

$$i_t = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2}$$

$$v_t = 1/2 \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + 3/2 \cdot C_3 \cdot t^{1/2}$$

Neznámé parametry C_1 , C_2 , C_3 vypočteny pomocí 3 rovnic o 3 neznámých

$$C_1 \sum t_i + C_2 \sum t_i^{3/2} + C_3 \sum t_i^2 = \sum I_i \cdot t_i^{1/2}$$

$$C_1 \sum t_i^{3/2} + C_2 \sum t_i^2 + C_3 \sum t_i^{5/2} = \sum I_i \cdot t_i$$

; pro \sum od
i=1, do m

$$C_1 \sum t_i^2 + C_2 \sum t_i^{5/2} + C_3 \sum t_i^3 = \sum I_i \cdot t_i^{3/2}$$

Pro výpočet využito součinu inverzních matic:

LS	PS
0,25540856 -0,081870791 0,00606166	2,2524535
-0,0818708 0,028176013 -0,002175565	-0,139715
0,00606166 -0,002175565 0,00017253	0,00755

Výpočet pomocí řešitele v programu MS Excel:

LS			PS	Výpočet PS	Koef. C_i
375,08	2745,05	21436,38	623,18	623,17876	2,25
2745,05	21436,38	173863,88	4500,79	5108,9884	0,0107603
21436,38	173863,88	1445039,75	34903,11	40773,167	0,013437
			Suma	2,2741973	

$C_1 =$	2,2525	$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	odhad sorptivity
$C_2 =$	-0,1397		parametr vyrovnávacího procesu
$C_3 =$	0,0075		parametr vyrovnávacího procesu

$$K = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2$$

$$K = 0,08616 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 1,24066 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Philip

$$i_t = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v_t = 1/2 \cdot S \cdot t^{-1/2} + A$$

$$S \sum t + A \sum t^{3/2} = \sum I \cdot t^{1/2}$$

$$S \sum t^{3/2} + A \sum t^2 = \sum I \cdot t$$

LS		PS
375,08	2745,05	623,18
2745,05	21436,38	4500,79

Inverzní matice:

LS		PS	
0,04243806	-0,005434437	1,987191994	=> S
-0,0054344	0,000742561	-0,044510947	=> A

$$K = A/m \quad m = 0,6667$$

$$K = A/m \quad 0 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 0,00000 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 6.5: Laboratorní měření na permeamtru s konstantním spádem, vzorky z 1. výjezdu

l= 5 cm ... výška válečku $q = V/\Delta t$
 S= 25 cm² ... plocha válečku $K = (q/S) \cdot (l/H)$

03.06.2011

	pozice	V cm ³	t s	h ₁ cm	h ₂ cm	H cm	q cm ³ ·s ⁻¹	K cm·s ⁻¹ m·den ⁻¹		K prům. m·den ⁻¹
0-10 kl	1	3	90	3,2	6,2	3	0,0333	0,0022	1,9200	1,4236
0-10 kl	2	1,8	90	2,9	6,1	3,2	0,0200	0,0013	1,0800	
0-10 kl	3	1,6	90	3,4	6,5	3,1	0,0178	0,0011	0,9910	
0-10 kl	4	2	90	2,9	6,1	3,2	0,0222	0,0014	1,2000	
0-10 kl	5	4	120	3,4	6,4	3	0,0333	0,0022	1,9200	
0-10 kl	6	2,8	90	3,1	6	2,9	0,0311	0,0021	1,8538	
0-10 kl	7	2,6	90	3	6	3	0,0289	0,0019	1,6640	
0-10 kl	8	1,8	90	2,9	6	3,1	0,0200	0,0013	1,1148	
0-10 kl	9	2,3	120	3	6,1	3,1	0,0192	0,0012	1,0684	
0-10 min	1	3	120	3,1	6,4	3,3	0,0250	0,0015	1,3091	0,9920
0-10 min	2	1,5	90	3	5,8	2,8	0,0167	0,0012	1,0286	
0-10 min	3	1	60	3,5	6,5	3	0,0167	0,0011	0,9600	
0-10 min	4	1	60	3,5	6,8	3,3	0,0167	0,0010	0,8727	
0-10 min	5	0,8	60	3,4	6,5	3,1	0,0133	0,0009	0,7432	
0-10 min	6	1,6	90	2,9	5,7	2,8	0,0178	0,0013	1,0971	
0-10 min	7	2	90	3	6,3	3,3	0,0222	0,0013	1,1636	
0-10 min	8	1,6	90	3,1	6,4	3,3	0,0178	0,0011	0,9309	
0-10 min	9	1,2	90	3	5,8	2,8	0,0133	0,0010	0,8229	

Tabulka 6.6: Terénní měření
 minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd,
 měření 1

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 03.06.2011

MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ

Čas s	Odmocnina	Vsáklo ml	Infiltrace cm
0		95,00	0,00
30	5,48	91,00	0,25
60	7,75	89,00	0,38
90	9,49	87,00	0,50
120	10,95	85,00	0,63
150	12,25	84,00	0,69
180	13,42	82,00	0,82
210	14,49	81,00	0,88
240	15,49	80,00	0,94
270	16,43	78,50	1,04
300	17,32	77,00	1,13
330	18,17	76,00	1,19
360	18,97	75,00	1,26

Tabulka 6.7: Terénní měření
 minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd,
 měření 2

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 03.06.2011

MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ

Čas s	Odmocnina	Vsáklo ml	Infiltrace cm
0		95,00	0,00
30	5,48	92,50	0,16
60	7,75	91,50	0,22
90	9,49	91,00	0,25
120	10,95	90,00	0,31
150	12,25	89,00	0,38
180	13,42	88,50	0,41
210	14,49	88,00	0,44
240	15,49	87,00	0,50
270	16,43	86,00	0,57
300	17,32	85,50	0,60
330	18,17	85,00	0,63
360	18,97	84,50	0,66

Pokračování tabulky 6.6

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infiltrace
s		ml	cm
390	19,75	73,00	1,38
420	20,49	72,00	1,45
450	21,21	71,00	1,51
480	21,91	70,00	1,57
510	22,58	69,00	1,64
540	23,24	67,50	1,73
570	23,87	66,00	1,82
600	24,49	65,00	1,89
630	25,10	64,00	1,95
660	25,69	62,50	2,04
690	26,27	61,50	2,11
720	26,83	60,00	2,20
750	27,39	59,00	2,26
780	27,93	58,00	2,33
810	28,46	56,60	2,42
840	28,98	55,50	2,48
870	29,50	54,50	2,55
900	30,00	53,00	2,64
930	30,50	52,00	2,70
960	30,98	51,00	2,77
990	31,46	50,00	2,83
1020	31,94	49,00	2,89
1050	32,40	47,50	2,99
1080	32,86	46,00	3,08
1110	33,32	45,00	3,14
1140	33,76	44,00	3,21
1170	34,21	43,00	3,27
1200	34,64	42,00	3,33

$$C_1 = (\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2}) / (\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$$

$$C_1 = 0,00181 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_0 = -2 \text{ cm}$$

$$n = 1,56$$

$$\alpha = 0,036$$

$$r_0 = 2,20 \text{ cm}$$

$$A = [11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n-1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)] / (\alpha \cdot r_0)^{0,91}$$

$$A = 6,40$$

$$K = C_1/A$$

$$K = 0,000284 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$K = 0,2450 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Pokračování tabulky 6.7

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infiltrace
s		ml	cm
390	19,75	84,00	0,69
420	20,49	83,50	0,72
450	21,21	83,00	0,75
480	21,91	82,50	0,79
510	22,58	82,00	0,82
540	23,24	81,50	0,85
570	23,87	80,50	0,91
600	24,49	80,00	0,94
630	25,10	79,50	0,97
660	25,69	79,00	1,01
690	26,27	78,00	1,07
720	26,83	77,50	1,10
750	27,39	77,00	1,13
780	27,93	76,50	1,16
810	28,46	76,00	1,19
840	28,98	75,50	1,23
870	29,50	75,00	1,26
900	30,00	74,50	1,29
930	30,50	74,00	1,32
960	30,98	73,50	1,35
990	31,46	73,00	1,38
1020	31,94	72,50	1,42
1050	32,40	72,00	1,45
1080	32,86	71,50	1,48
1110	33,32	71,00	1,51
1140	33,76	70,50	1,54
1170	34,21	70,00	1,57
1200	34,64	69,50	1,60

$$C_1 = (\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2}) / (\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$$

$$C_1 = 0,00074 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_0 = -2 \text{ cm}$$

$$n = 1,56$$

$$\alpha = 0,036$$

$$r_0 = 2,20 \text{ cm}$$

$$A = [11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n-1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)] / (\alpha \cdot r_0)^{0,91}$$

$$A = 6,40$$

$$K = C_1/A$$

$$K = 0,000116 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$K = 0,1004 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

**Tabulka 6.8: Terénní měření
minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd,
měření 3**

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 03.06.2011

KLASICKÝ ZPŮSOB

ZPRACOVÁNÍ

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infiltrace
s		ml	cm
390	19,75	82,50	0,66
420	20,49	82,00	0,69
450	21,21	81,50	0,72
480	21,91	81,00	0,75
510	22,58	80,50	0,79
540	23,24	80,00	0,82
570	23,87	79,50	0,85
600	24,49	79,00	0,88
630	25,10	78,50	0,91
660	25,69	78,00	0,94
690	26,27	77,00	1,01
720	26,83	76,50	1,04
750	27,39	76,00	1,07
780	27,93	75,50	1,10
810	28,46	75,00	1,13
840	28,98	74,50	1,16
870	29,50	74,00	1,19
900	30,00	73,50	1,23
930	30,50	73,00	1,26
960	30,98	72,50	1,29
990	31,46	72,00	1,32
1020	31,94	71,50	1,35
1050	32,40	71,00	1,38
1080	32,86	70,00	1,45
1110	33,32	69,50	1,48
1140	33,76	69,00	1,51
1170	34,21	68,50	1,54
1200	34,64	68,00	1,57

$$C_1 = (\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2}) / (\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$$

$$C_1 = 0,00079 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_0 = -2 \text{ cm}$$

$$n = 1,56$$

$$\alpha = 0,036$$

$$r_0 = 2,20 \text{ cm}$$

$$A = [11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n - 1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)] / (\alpha \cdot r_0)^{0,91}$$

$$A = 6,40$$

$$K = C_1 / A$$

$$K = 0,000123 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$K = 0,1062 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

**Tabulka 6.9: Terénní měření
minidiskovými infiltrometry, 1. výjezd,
měření 4**

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 03.06.2011

KLASICKÝ ZPŮSOB

ZPRACOVÁNÍ

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infiltrace
s		ml	cm
390	19,75	85,00	0,63
420	20,49	84,50	0,66
450	21,21	84,00	0,69
480	21,91	83,50	0,72
510	22,58	83,00	0,75
540	23,24	83,00	0,75
570	23,87	82,50	0,79
600	24,49	82,00	0,82
630	25,10	81,50	0,85
660	25,69	81,00	0,88
690	26,27	80,50	0,91
720	26,83	80,00	0,94
750	27,39	80,00	0,94
780	27,93	79,50	0,97
810	28,46	79,00	1,01
840	28,98	79,00	1,01
870	29,50	78,50	1,04
900	30,00	78,00	1,07
930	30,50	77,50	1,10
960	30,98	77,00	1,13
990	31,46	77,00	1,13
1020	31,94	76,50	1,16
1050	32,40	76,00	1,19
1080	32,86	75,00	1,26
1110	33,32	75,00	1,26
1140	33,76	74,50	1,29
1170	34,21	74,00	1,32
1200	34,64	73,50	1,35

$$C_1 = (\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2}) / (\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$$

$$C_1 = 0,00030 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_0 = -2 \text{ cm}$$

$$n = 1,56$$

$$\alpha = 0,036$$

$$r_0 = 2,20 \text{ cm}$$

$$A = [11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n - 1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)] / (\alpha \cdot r_0)^{0,91}$$

$$A = 6,40$$

$$K = C_1 / A$$

$$K = 0,000048 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$K = 0,0411 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 7.1: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 2. výjezd, měření 1

KLASICKÝ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ PŮDY

Plodina: Kukuřice

Lokalita:	Bohaté Málkovice		Označení válce:	malý 1, VUT
Datum:	22.06.2011		Vnitřní válec: Průměr:	26,29 cm
Technologie zpracování:	Klasický způsob, bez aplikace PRP SOL		Plocha:	542,46 cm ²
			Výška hrotu nad povrchem h:	1,5 cm
Vlhkost:	10 cm	% obj.	Obj. válce po úroveň h:	0,81 l
	20 cm	% obj.	Vnější válec: Průměr:	35,70 cm
	30 cm	% obj.	Plocha:	1000,47 cm ²

Změřeno				Vypočteno			Philip			TRPT	
Čas				Dodáno	Vsáklo V	Kumulativní Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	
h	m	s	min								
				l	l	cm	cm·min ⁻¹	cm	cm·min ⁻¹	cm	
0	: 00	: 00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	
0	: 00	: 32	0,53	1,00	1,19	2,19	1,691	1,837	1,972	2,243	
0	: 01	: 50	1,83	1,00	2,19	4,04	0,883	3,353	0,955	3,946	
0	: 03	: 57	3,95	1,00	3,19	5,88	0,581	4,841	0,584	5,499	
0	: 08	: 34	8,57	1,00	4,19	7,72	0,374	6,955	0,342	7,524	
0	: 17	: 47	17,78	1,00	5,19	9,57	0,240	9,675	0,201	9,891	
0	: 28	: 29	28,48	1,00	6,19	11,41	0,177	11,865	0,145	11,696	
0	: 41	: 52	41,87	1,00	7,19	13,25	0,135	13,920	0,118	13,427	
0	: 56	: 26	56,43	1,00	8,19	15,10	0,107	15,664	0,107	15,048	
1	: 11	: 46	71,77	1,00	9,19	16,94	0,088	17,149	0,104	16,658	
1	: 28	: 40	88,67	0,00	10,19	18,78	0,073	18,497	0,107	18,436	
1	: 48	: 30	108,50	0,00	11	20,28	0,060	19,800	0,113	20,613	

Tříparametrická rovnice Philipova typu

$$i_t = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2}$$

$$v_t = 1/2 \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + 3/2 \cdot C_3 \cdot t^{1/2}$$

Neznámé parametry C_1 , C_2 , C_3 vypočteny pomocí 3 rovnic o 3 neznámých

$$C_1 \sum t_i + C_2 \sum t_i^{3/2} + C_3 \sum t_i^2 = \sum I_i \cdot t_i^{1/2}$$

$$C_1 \sum t_i^{3/2} + C_2 \sum t_i^2 + C_3 \sum t_i^{5/2} = \sum I_i \cdot t_i$$

$$C_1 \sum t_i^2 + C_2 \sum t_i^{5/2} + C_3 \sum t_i^3 = \sum I_i \cdot t_i^{3/2}$$

; pro \sum od
i=1, do m

Pro výpočet využito součinu inverzních matic:

LS	PS
0,2142245 -0,0590194 0,00380093	3,27148859
-0,0590194 0,01754216 -0,0011846	-0,28458005
0,0038009 -0,0011846 8,2544E-05	0,0154071

Výpočet pomocí řešitele v programu MS Excel:

LS			PS	Výpočet PS	Koef. C_i
428,38	3530,70	30942,20	873,42	873,41508	2,0388634
3530,70	30942,20	281464,60	7081,65	7198,60593	0
30942,20	281464,60	2626535,86	61595,15	63086,9262	0
			Suma		2,0388634

$$C_1 = 3,2715 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1/2} \quad \text{odhad sorptivity}$$

$$C_2 = -0,2846 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{parametr vyrovnávacího procesu}$$

$$C_3 = 0,0154 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-3/2} \quad \text{parametr vyrovnávacího procesu}$$

$$K = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2$$

$$K = 0,10428 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 1,50 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Philip

$$i_t = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v_t = 1/2 \cdot S \cdot t^{-1/2} + A$$

$$S \sum t + A \sum t^{3/2} = \sum I \cdot t^{1/2}$$

$$S \sum t^{3/2} + A \sum t^2 = \sum I \cdot t$$

LS		PS
428,38	3530,70	873,42
3530,70	30942,20	7081,65

Inverzní matice:

LS		PS
0,0392014	-0,0044731	2,56203151 => S
-0,0044731	0,00054273	-0,0634766 => A

$$K = A/m \quad m = 0,6667$$

$$K = A/m \quad 0 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 0,00000 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 7.2: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 2. výjezd, měření 2

KLASICKÝ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ PŮDY

Plodina: Kukuřice

GPS : 49°12,469N 17°1,046E

Lokalita:	Bohaté Málkovice		Označení válce:	malý 2,VUT	
Datum:	22.06.2011		Vnitřní válec:	Průměr:	25,4 cm
Technologie zpracování:	Klasický způsob, bez aplikace PRP SOL		Plocha:		506,45 cm ²
			Výška hrotu nad povrchem h:		2 cm
Vlhkost:	10 cm	%obj.	Obj. válce po úroveň h:		1,01 l
	20 cm	%obj.	Vnější válec:	Průměr:	35,20 cm
	30 cm	%obj.	Plocha:		972,65 cm ²

Změřeno						Vypočteno				Philip		TRPT	
Čas						Dodáno	Vsáklo V	Kumulativní Infiltrace i_t	rychlost infiltrace	kumul. Infiltrace	rychlost infiltrace	kumul. Infiltrace	
h		m		s	min				l	l	cm	$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	cm
0	:	00	:	00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	
0	:	00	:	27	0,45	1,00	0,49	0,97	1,973	1,713	1,879	1,600	
0	:	01	:	50	1,83	1,00	1,49	2,94	1,048	3,587	1,029	3,414	
0	:	03	:	47	3,78	1,00	2,49	4,92	0,772	5,314	0,772	5,126	
0	:	06	:	06	6,10	1,00	3,49	6,89	0,638	6,929	0,646	6,752	
0	:	09	:	11	9,18	1,00	4,49	8,87	0,546	8,740	0,557	8,592	
0	:	12	:	56	12,93	1,00	5,49	10,84	0,482	10,658	0,494	10,554	
0	:	17	:	12	17,20	1,00	6,49	12,81	0,437	12,611	0,448	12,559	
0	:	21	:	57	21,95	1,00	7,49	14,79	0,403	14,599	0,413	14,601	
0	:	27	:	12	27,20	1,00	8,49	16,76	0,376	16,639	0,385	16,691	
0	:	33	:	30	33,50	1,00	9,49	18,74	0,353	18,931	0,359	19,030	
0	:	38	:	52	38,87	1,00	10,49	20,71	0,337	20,781	0,341	20,907	
0	:	44	:	37	44,62	1,00	11,49	22,69	0,324	22,682	0,326	22,824	
0	:	50	:	37	50,62	1,00	12,49	24,66	0,313	24,593	0,312	24,738	
0	:	57	:	10	57,17	1,00	13,49	26,64	0,303	26,609	0,299	26,740	
1	:	03	:	15	63,25	1,00	14,49	28,61	0,295	28,426	0,289	28,529	
1	:	10	:	00	70,00	1,00	15,49	30,59	0,287	30,389	0,279	30,444	
1	:	18	:	05	78,08	1,00	16,49	32,56	0,279	32,678	0,268	32,652	
1	:	26	:	07	86,12	0,00	17,69	34,93	0,273	34,894	0,258	34,766	
1	:	33	:	14	93,23	0,00	18,50	36,53	0,268	36,816	0,251	36,577	

Tříparametrická rovnice Philipova typu

$$i_t = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2}$$

$$v_t = 1/2 \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + 3/2 \cdot C_3 \cdot t^{1/2}$$

Neznámé parametry C_1 , C_2 , C_3 vypočteny pomocí 3 rovnic o 3 neznámých

$$C_1 \sum t_i + C_2 \sum t_i^{3/2} + C_3 \sum t_i^2 = \sum I_i \cdot t_i^{1/2}$$

$$C_1 \sum t_i^{3/2} + C_2 \sum t_i^2 + C_3 \sum t_i^{5/2} = \sum I_i \cdot t_i$$

$$C_1 \sum t_i^2 + C_2 \sum t_i^{5/2} + C_3 \sum t_i^3 = \sum I_i \cdot t_i^{3/2}$$

; pro \sum od
i=1, do m

Pro výpočet využito součinu inverzních matic:

LS	PS
0,1676587 -0,0499046 0,0034906	2,24620067
-0,0499046 0,0157831 -0,0011482	0,21030462
0,0034906 -0,0011482 8,5832E-05	-0,00524259

Výpočet pomocí řešitele v programu MS Excel:

LS	PS	Výpočet PS	Koef. C _i
716,08 5420,21 43383,87	2520,92	2522,50604	2,4992984
5420,21 43383,87 359912,47	19411,83	19412,1182	0,1351978
43383,87 359912,47 3061826,32	157088,24	157088,612	0
Suma		2,6344962	

$$C_1 = 2,2462 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1/2} \quad \text{odhad sorptivity}$$

$$C_2 = 0,2103 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{parametr vyrovnávacího procesu}$$

$$C_3 = -0,0052 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-3/2} \quad \text{parametr vyrovnávacího procesu}$$

$$K = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2$$

$$K = 0,13520 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 1,94685 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Philip

$$i_t = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v_t = 1/2 \cdot S \cdot t^{-1/2} + A$$

$$S \sum t + A \sum t^{3/2} = \sum I \cdot t^{1/2}$$

$$S \sum t^{3/2} + A \sum t^2 = \sum I \cdot t$$

LS	PS
716,08 5420,21	2520,92
5420,21 43383,87	19411,83

Inverzní matice:

LS	PS	
0,025704 -0,0032114	2,45940479	=> S
-0,0032114 0,00042426	0,14017525	=> A

$$K = A/m \quad m = 0,6667$$

$$K = 0,2102629 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 3,02779 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 7.3: Terénní infiltrační pokus Bohaté Málkovice, 2. výjezd, měření 3
 MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ PŮDY Plodina: Kukuřice

Lokalita:	Bohaté Málkovice		Označení válce:	starý 2, VUT
Datum:	22.06.2011		Vnitřní válec: Průměr:	25,4 cm
Technologie zpracování:	Minimal. způsob, bez aplikace PRP SOL		Plocha:	506,45 cm ²
			Výška hrotu nad povrchem h:	1,5 cm
Vlhkost:	10 cm	%obj.	Obj. válce po úroveň h:	0,76 l
	20 cm	%obj.	Vnější válec: Průměr:	35,20 cm
	30 cm	%obj.	Plocha:	972,65 cm ²

Změřeno						Vypočteno				Philip		TRPT	
Čas						Dodáno	Vsáklo V	Kumulativní Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	rychlost infiltrace v_t	kumul. Infiltrace i_t	
h		m		s	min	l	l	cm	$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	cm	$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	cm	
0 : 00 : 00						0,00	2,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00
0 : 02 : 25						2,42	1,00	1,19	2,35	0,659	2,599	0,636	2,261
0 : 06 : 10						6,17	1,00	2,19	4,32	0,504	4,713	0,514	4,368
0 : 10 : 18						10,30	1,00	3,19	6,30	0,445	6,658	0,463	6,376
0 : 14 : 41						14,68	1,00	4,19	8,27	0,412	8,530	0,432	8,334
0 : 19 : 15						19,25	1,00	5,19	10,25	0,391	10,360	0,410	10,254
0 : 24 : 17						24,28	1,00	6,19	12,22	0,375	12,284	0,392	12,270
0 : 28 : 57						28,95	1,00	7,19	14,20	0,364	14,005	0,378	14,065
0 : 34 : 31						34,52	1,00	8,19	16,17	0,353	15,999	0,365	16,130
0 : 39 : 50						39,83	1,00	9,19	18,15	0,346	17,857	0,354	18,039
0 : 45 : 43						45,72	1,00	10,19	20,12	0,339	19,871	0,343	20,087
0 : 51 : 46						51,77	1,00	11,19	22,09	0,333	21,904	0,333	22,132
0 : 57 : 48						57,80	1,00	12,19	24,07	0,328	23,899	0,325	24,116
1 : 03 : 51						63,85	1,00	13,19	26,04	0,324	25,873	0,317	26,056
1 : 10 : 30						70,50	1,00	14,19	28,02	0,320	28,016	0,309	28,135
1 : 16 : 43						76,72	1,00	15,19	29,99	0,317	29,998	0,302	30,033
1 : 23 : 04						83,07	1,00	16,19	31,97	0,314	32,002	0,295	31,928
1 : 30 : 01						90,02	0,00	17,19	33,94	0,311	34,177	0,288	33,956
1 : 35 : 19						95,32	0,00	18,00	35,54	0,310	35,822	0,284	35,472

Tříparametrická rovnice Philipova typu

$$i_t = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2}$$

$$v_t = 1/2 \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + 3/2 \cdot C_3 \cdot t^{1/2}$$

Neznámé parametry C_1 , C_2 , C_3 vypočteny pomocí 3 rovnic o 3 neznámých

$$C_1 \sum t_i + C_2 \sum t_i^{3/2} + C_3 \sum t_i^2 = \sum I_i \cdot t_i^{1/2}$$

$$C_1 \sum t_i^{3/2} + C_2 \sum t_i^2 + C_3 \sum t_i^{5/2} = \sum I_i \cdot t_i$$

$$C_1 \sum t_i^2 + C_2 \sum t_i^{5/2} + C_3 \sum t_i^3 = \sum I_i \cdot t_i^{3/2}$$

; pro \sum od
i=1, do m

Pro výpočet využito součinu inverzních matic:

LS	PS
0,2116214 -0,0611228 0,0041709	0,91126453
-0,0611228 0,01849503 -0,0013018	0,36269952
0,0041709 -0,0013018 9,369E-05	-0,00859263

Výpočet pomocí řešitele v programu MS Excel:

LS	PS	Výpočet PS	Koef. C_i
815,15 6359,27 52073,50	2601,87	2603,92611	1,3471911
6359,27 52073,50 440461,14	20897,29	20897,2384	0,2367823
52073,50 440461,14 3812690,01	174446,76	174446,351	0
Suma		1,5839734	

$C_1 = 0,9113 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ odhad sorptivity
 $C_2 = 0,3627 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ parametr vyrovnávacího procesu
 $C_3 = -0,0086 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-3/2}$ parametr vyrovnávacího procesu

$$K = (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2$$

$$K = 0,23678 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 3,40966 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Philip

$$i_t = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t$$

$$v_t = 1/2 \cdot S \cdot t^{-1/2} + A$$

$$S \sum t + A \sum t^{3/2} = \sum I \cdot t^{1/2}$$

$$S \sum t^{3/2} + A \sum t^2 = \sum I \cdot t$$

LS	PS
815,15 6359,27	2601,87
6359,27 52073,50	20897,29

Inverzní matice:

LS	PS	
0,0259413 -0,003168	1,29379105	=> S
-0,003168 0,00040608	0,24330465	=> A

$$K = A/m \quad m = 0,6667$$

$$K = 0,36495702 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 5,25538 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

Tabulka 7.4: Laboratorní měření na permeamtru s konstantním spádem, vzorky z 1. výjezdu

l= 5 cm ... výška válečku

 $q = V/\Delta t$ S= 25 cm² ... plocha válečku $K = (q/S) \cdot (l/H)$

	pozice	V	t	h ₁	h ₂	H	q	K		K prům.
		cm ³	s	cm	cm	cm	cm ³ ·s ⁻¹	cm·s ⁻¹	m·den ⁻¹	m·den ⁻¹
0-10 kl	1	2	90	3,2	7,2	4	0,0222	0,0011	0,9600	1,0639
0-10 kl	2	1,8	90	2,9	6,2	3,3	0,0200	0,0012	1,0473	
0-10 kl	3	1,5	90	3,2	6,5	3,3	0,0167	0,0010	0,8727	
0-10 kl	4	2	90	3,4	6,5	3,1	0,0222	0,0014	1,2387	
0-10 kl	5	2,2	90	3,2	6,4	3,2	0,0244	0,0015	1,3200	
0-10 kl	6	2,1	90	2,9	5,9	3	0,0233	0,0016	1,3440	
0-10 kl	7	1,6	90	3	6,3	3,3	0,0178	0,0011	0,9309	
0-10 kl	8	1,7	90	3,1	6,4	3,3	0,0189	0,0011	0,9891	
0-10 kl	9	1,5	90	2,9	6,2	3,3	0,0167	0,0010	0,8727	
0-10 min	1	2,3	60	3,1	5,9	2,8	0,0383	0,0027	2,3657	1,9900
0-10 min	2	2	60	3,3	6,5	3,2	0,0333	0,0021	1,8000	
0-10 min	3	2,5	90	3	4,6	1,6	0,0278	0,0035	3,0000	
0-10 min	4	2,4	60	2,7	5,8	3,1	0,0400	0,0026	2,2297	
0-10 min	5	1,75	60	3,1	6,2	3,1	0,0292	0,0019	1,6258	
0-10 min	6	2,2	60	2,9	6,4	3,5	0,0367	0,0021	1,8103	
0-10 min	7	2,1	60	3	6,2	3,2	0,0350	0,0022	1,8900	
0-10 min	8	1,9	60	3,1	6,4	3,3	0,0317	0,0019	1,6582	
0-10 min	9	1,7	60	3,3	6,5	3,2	0,0283	0,0018	1,5300	

Tabulka 7.5: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 2. výjezd, měření 1

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 22.06.2011

MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infilttrace
s		ml	cm
0		95,00	0,00
60	7,75	90,50	0,16
120	10,95	88,75	0,27
180	13,42	87,00	0,38
240	15,49	85,00	0,50
300	17,32	83,50	0,60
360	18,97	82,00	0,69
420	20,49	81,00	0,75
480	21,91	79,50	0,85
540	23,24	78,00	0,94
600	24,49	77,00	1,01
720	26,83	75,00	1,13
840	28,98	73,50	1,23
960	30,98	71,75	1,34
1080	32,86	70,00	1,45

Tabulka 7.6: Terénní měření minidiskovými infiltrometry, 2. výjezd, měření 2

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 22.06.2011

MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infilttrace
s		ml	cm
0		95,00	0,00
60	7,75	88,50	0,28
120	10,95	85,50	0,47
180	13,42	83,00	0,63
240	15,49	81,50	0,72
300	17,32	79,00	0,88
360	18,97	77,75	0,96
420	20,49	76,25	1,05
480	21,91	74,75	1,15
540	23,24	73,75	1,21
600	24,49	72,25	1,31
720	26,83	70,00	1,45
840	28,98	67,25	1,62
960	30,98	64,75	1,78
1080	32,86	61,75	1,97

1200	34,64	68,25	1,56
$C_1=(\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2})/(\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$			
$C_1=$	0,00067	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	
$h_0=$	-2	cm	
$n=$	1,56		
$\alpha=$	0,036		
$r_0=$	2,20	cm	
$A=[11,65 \cdot (n^{0,1}-1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n-1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)]/(\alpha \cdot r_0)^{0,91}$			
$A=$	6,40		
$K=C_1/A$			
$K=$	0,000105	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	
$K=$	0.0905	$\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$	

1200	34,64	59,00	2,14
$C_1=(\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2})/(\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$			
$C_1=$	0,00071	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	
$h_0=$	-2	cm	
$n=$	1,56		
$\alpha=$	0,036		
$r_0=$	2,20	cm	
$A=[11,65 \cdot (n^{0,1}-1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n-1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)]/(\alpha \cdot r_0)^{0,91}$			
$A=$	6,40		
$K=C_1/A$			
$K=$	0,000111	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	
$K=$	0,0963	$\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$	

*Tabulka 7.7: Terénní měření
minidiskovými infiltrometry, 2. výjezd,
měření 3*

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 22.06.2011

KLASICKÝ ZPŮSOB

ZPRACOVÁNÍ

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infiltrace
s		ml	cm
0		95,00	0,00
60	7,75	90,50	0,28
120	10,95	89,00	0,38
180	13,42	88,00	0,44
240	15,49	87,00	0,50
300	17,32	86,50	0,53
360	18,97	86,00	0,57
420	20,49	85,00	0,63
480	21,91	84,50	0,66
540	23,24	84,00	0,69
600	24,49	83,50	0,72
720	26,83	82,00	0,82
840	28,98	81,00	0,88
960	30,98	80,00	0,94
1080	32,86	78,50	1,04
1200	34,64	77,00	1,13

$C_1=(\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2})/(\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$	
$C_1=$	0,00002 cm·s ⁻¹
$h_0=$	-2 cm
$n=$	1,56
$\alpha=$	0,036
$r_0=$	2,20 cm
$A=[11,65 \cdot (n^{0,1}-1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n-1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)]/(\alpha \cdot r_0)^{0,91}$	
$A=$	6,40
$K=C_1/A$	
$K=$	0,000003 cm·s ⁻¹
$K=$	0,0024 m·den ⁻¹

**Tabulka 8.1: Terénní měření
minidiskovými infiltrometry, 3. výjezd,
měření 1**

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 20.07.2011

MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infiltrace
s		ml	cm
0		95,00	0,00
60	7,75	89,00	0,38
120	10,95	87,50	0,47
180	13,42	86,00	0,57
240	15,49	85,00	0,63
300	17,32	84,00	0,69
360	18,97	82,00	0,82
420	20,49	81,00	0,88
480	21,91	80,00	0,94
540	23,24	78,50	1,04
600	24,49	77,50	1,10
720	26,83	75,20	1,25
840	28,98	73,20	1,37
960	30,98	71,00	1,51
1080	32,86	69,00	1,64
1200	34,64	67,00	1,76

$$C_1 = (\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2}) / (\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$$

$$C_1 = 0,00046 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_0 = -2 \text{ cm}$$

$$n = 1,56$$

$$\alpha = 0,036$$

$$r_0 = 2,20 \text{ cm}$$

$$A = [11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n - 1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)] / (\alpha \cdot r_0)^{0,91}$$

$$A = 6,40$$

$$K = C_1 / A$$

$$K = 0,000072 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$K = 0,0620 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$

**Tabulka 8.2: Terénní měření
minidiskovými infiltrometry, 3. výjezd,
měření 2**

Lokalita: Bohaté Málkovice

Datum: 20.07.2011

MINIMALIZAČNÍ ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ

Čas	Odmocnina	Vsáklo	Infiltrace
s		ml	cm
0		95,00	0,00
60	7,75	90,00	0,31
120	10,95	88,00	0,44
180	13,42	86,00	0,57
240	15,49	84,00	0,69
300	17,32	82,00	0,82
360	18,97	80,75	0,90
420	20,49	79,00	1,01
480	21,91	77,50	1,10
540	23,24	76,00	1,19
600	24,49	74,50	1,29
720	26,83	71,25	1,49
840	28,98	68,00	1,70
960	30,98	65,00	1,89
1080	32,86	62,00	2,08
1200	34,64	59,00	2,26
1500	38,73	51,50	2,74
1800	42,43	44,00	3,21

$$C_1 = (\sum t_i \cdot \sum I_i \cdot t_i - \sum I_i \cdot t_i^{1/2} \cdot \sum t_i^{3/2}) / (\sum t_i \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i^{3/2})^2)$$

$$C_1 = 0,00117$$

$$h_0 = -2$$

$$n = 1,56$$

$$\alpha = 0,036$$

$$r_0 = 2,20$$

$$A = [11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp(7,5 \cdot (n - 1,9) \cdot \alpha \cdot h_0)] / (\alpha \cdot r_0)^{0,91}$$

$$A = 6,40$$

$$K = C_1 / A$$

$$K = 0,000183 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$K = 0,1581 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$$